



**Carolina Mesquita  
Herdeiro**

**Seis Sigma: Redução da Variabilidade num Serviço  
de Entrega Logístico**



**Carolina Mesquita  
Herdeiro**

**Seis Sigma: Redução da Variabilidade num Serviço  
de Entrega Logístico**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão, realizada sob a orientação científica do Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira, Professor Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

Ao João Lourenço e à Maria Francisca, os grandes projectos da minha vida.

## **o júri**

presidente

Prof. Doutor António Carrizo Moreira  
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Manuel Vilas-Boas da Silva  
professor auxiliar do ISCTE Business School – Instituto Universitário de Lisboa

Prof. Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira  
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Agradeço ao meu Orientador, o Prof. Doutor Luis Miguel Ferreira, pela exigência, profissionalismo e simpatia com que orientou esta tese.  
À Débora e à Lara pela ajuda na recolha e manutenção dos dados.  
À minha muito querida Família, por todo o apoio, em especial ao meu marido, pelo incentivo.

**palavras-chave**

Seis Sigma, DMAIC, Lead Time, Logística

**resumo**

O Lead Time é um dos conceitos mais importantes na Logística. A rapidez e a fiabilidade de um serviço de entregas logístico influenciam fortemente os custos da operação. Uma empresa que reduza estes custos, de uma forma eficiente, satisfazendo as expectativas dos seus clientes, é claramente uma empresa mais competitiva. Os objectivos específicos deste estudo são relacionados como a redução da variabilidade num serviço de entregas logístico interno e com o aumento da eficiência do processo pela optimização dos recursos alocados. A metodologia usada neste estudo é o Six Sigma – DMAIC

**keywords**

Six Sigma, DMAIC, Lead Time, Logistics

**abstract**

Lead time is one of the most important concepts in Logistics. The speed and the reliability of a logistics delivery service strongly influence the cost of operation. A company that reduces these costs, in an efficient manner, meeting the expectations of its customers, is clearly a more competitive company.

The specific targets of this study are related with the reduction of variability in an internal delivery service and with increasing process efficiency by optimizing the resources allocated.

The methodology used in this study is the Six Sigma - DMAIC

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....	1
CAPÍTULO 2 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO .....	3
2.1. O que é o Seis Sigma? .....	3
2.1.1. Perspectiva Estatística .....	3
2.1.2. Perspectiva Estratégica .....	4
2.2. Os “Belts” .....	6
2.3. Nível Sigma e DPMO: Medidas do nível de desempenho .....	8
2.4. Seis Sigma: Breve História e resultados da sua aplicação na Indústria .....	10
2.5. O Seis Sigma em áreas não industriais .....	12
2.5.1. Saúde .....	13
2.5.2. Hotelaria .....	14
2.5.3. Banca .....	14
2.5.4. Outros exemplos .....	15
2.6. Factores chave na implementação do Seis Sigma .....	16
2.7. Limitações na implementação do Seis Sigma .....	18
2.8. Metodologia DMAIC: Um modelo de melhoria .....	18
2.8.1. Definir (Define): .....	19
2.8.2. Medir (Measure) .....	21
2.8.3. Analisar (Analyse) .....	22
2.8.4. Melhorar (Improve) .....	23
2.8.5 Controlar (Control) .....	23
CAPÍTULO III – A LOGISTICA NA BOSCH AVEIRO .....	25
3.1. Apresentação do Grupo BOSCH .....	25
3.2. Grupo Bens de Consumo .....	26
3.2.1. A Divisão Thermotechnology (TT) .....	26
3.2.2. Unidade de Negócio Domestic Water Heater (DW) .....	27
3.3. Departamento de Logística (LOG) .....	27
3.4. Logística Interna .....	28
3.5. Rotas Logísticas de Abastecimento .....	30
3.5.1. Directo ao ponto de uso .....	31



3.5.2. Aos supermercados próximos do ponto de uso.....	31
3.5.2.1. “Rota Secções” .....	33
3.5.2.2. “Rota Kanban” .....	34
3.5.2.3. “Rota Solar” .....	34
3.6. Mapa de rotas.....	35
CAPÍTULO IV – CASO DE ESTUDO .....	36
4.1. Introdução.....	36
4.2. DMAIC – Fase Definir.....	39
4.2.1. Identificação do projecto, processo alvo, equipa e duração.....	39
4.2.2. Business Case .....	39
4.2.3. Âmbito do Projecto .....	40
4.2.4. Definição do Problema .....	40
4.2.5. Objectivo e Ganhos Financeiros .....	41
4.2.6. Milestones, Risco e Potenciais Barreiras.....	42
4.2.7. Plano de Comunicação .....	42
4.2.8. Lista dos requisitos mensuráveis do cliente.....	43
4.3. DMAIC – Fase Medir .....	43
4.3.1. Recolha de dados: Picagem do cartão magnético .....	44
4.3.2. Situação Inicial: Resultados da Medição por Mês .....	47
4.3.3. Situação Inicial: Resultados da Medição por Mês / Turno .....	49
4.4. DMAIC – Fase Analisar.....	52
4.4.1. Análise ao processo do turno da manhã (T1).....	52
4.4.2. Diagrama Causa – Efeito.....	54
4.4.3. Teste de Regressão “Número de caixas entregue por rota versus tempo de rota” .....	54
4.5. DMAIC – Fase Melhorar.....	56
4.5.1. “Matriz Impacto – Esforço”.....	56
4.5.2. Priorização das soluções.....	57
4.5.3. Solução: “O Milk Run efectua apenas a “Rota Secções” .....	58
4.5.3.1. Objectivo do Teste.....	58
4.5.3.2. Resultados do Teste.....	58
4.5.3.3. Conclusões do Teste .....	60
4.5.4. Teste de Hipóteses à Variância .....	60
4.5.5. Teste de Hipóteses à Média .....	61

4.5.6. Teste Z: Teste à Diferença entre duas Proporções Binomiais.....	61
4.5.7. Cálculo do Tempo de Paragem no Armazém .....	62
4.5.8. Solução: “Entregar uma quantidade fixa de caixas por rota”. .....	63
4.5.8.1. Objectivo do Teste.....	64
4.5.8.2. Cálculo da “Carga Fixa” .....	66
4.5.8.3. Resultados do Teste.....	66
4.5.8.4. Conclusões do Teste .....	68
4.5.9. Teste de Hipóteses à Variância .....	68
4.5.10. Teste de Hipóteses à Média .....	69
4.5.11. Teste Z: Teste à Diferença entre duas Proporções Binomiais.....	69
4.5.12. Teste de regressão “Carga fixa” .....	70
4.5.13. Cálculo do Tempo de Paragem no Armazém .....	70
4.5.14. Box Plot – Comparação da variabilidade dos tempos de rota.....	71
4.5.15. Melhorias implementadas .....	72
4.5.16. Resultados alcançados e ganhos financeiros.....	74
4.6. DMAIC – Fase Controlar .....	76
CAPÍTULO V – CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE MELHORIA FUTURA .....	77
5.1. Conclusões.....	77
5.2. Propostas de melhorias futuras .....	78
BIBLIOGRAFIA .....	80
ANEXOS .....	83
Anexo 1 – Relatório manual de rota .....	83
Anexo 2 – Teste de Regressão: Processo Inicial .....	84
2.1 – Turno da Manhã (T1) .....	84
2.2 – Turno da Tarde (T2).....	85
Anexo 3 – Teste de Kolmogorov-Smirnov .....	86
3.1. Amostras – Março e “Processo Rota Secções S/ Solar” .....	86
3.2. Amostras – “Processo Carga Fixa” .....	87
Anexo 4 – Teste Z: Teste à diferença entre duas proporções binomiais.....	87
4.1 – Dados do “Processo Inicial” e “Processo Rota Secções S/ Solar” .....	88
4.2 – Dados do “Processo Rota Secções S/ Solar” e Teste “Carga Fixa” .....	88
Anexo 5 – Teste de Regressão: “Processo Carga Fixa” .....	89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Caracterização dos “Belts”: Perfil, Função, Formação e Número. ....	7
Tabela 2.2 – DPMO versus Nível Sigma .....	9
Tabela 2.3 – ROI do Seis Sigma. Fonte: <a href="http://www.airacad.com/PaperSixSigma">www.airacad.com/PaperSixSigma</a> .....	12
Tabela 2.4 – Transformação de uma variável contínua em discreta e vice-versa.....	22
Tabela 3.1 – Sub-Tempos de ciclo da Rota Solar.....	34
Tabela 4.1 – Resultados Estatísticos das amostras recolhidas das 3 Rotas .....	38
Tabela 4.2 – Cálculo do Coeficiente de Variação.....	38
Tabela 4.3 – Definição dos Objectivos do Projecto.....	42
Tabela 4.4 – Requisitos do cliente – “Voz do Cliente”.....	43
Tabela 4.5 – Exemplo ilustrativo de um relatório diário da Rota do Milk Run Secções .....	45
Tabela 4.6 – Tempo de Ciclo Total e Sub-Tempos de Ciclo da “Rota Secções” .....	46
Tabela 4.7 – Resultados Estatísticos da “Rota Secções” de Janeiro a Março 2011 .....	47
Tabela 4.8 – “Rota Secções” – Cálculo do DPO, DPMO e Nível Sigma .....	48
Tabela 4.9 – Resultados Estatísticos da “Rota Secções”: Turno da manhã (T1), de Jan. a Mar. 2011..	49
Tabela 4.10 – Resultados Estatísticos da “Rota Secções”: Turno da tarde (T2), de Jan. a Mar. 2011 ..	49
Tabela 4.11 – Coeficiente de Variação, nos turnos da manhã (T1) e tarde (T2), de Jan. a Mar. 2011 ..	49
Tabela 4.12 – “Rota Secções” – Cálculo do DPO, DPMO e Nível Sigma: Turno 1 .....	50
Tabela 4.13 – “Rota Secções” – Cálculo do DPO, DPMO e Nível Sigma: Turno 2 .....	50
Tabela 4.14 – Comparação entre turno da manhã (T1) e turno da tarde (T2) .....	55
Tabela 4.15 – Avaliação do Impacto e Esforço das várias soluções.....	56
Tabela 4.16 – Cálculo do Nível Sigma e DPMO do Teste “Processo Rota Secções S/ Solar” .....	59
Tabela 4.17 – Resultados Estatísticos do Teste: “Processo Rota Secções S/ Solar” .....	59
Tabela 4.18 – Cálculo Coeficiente de Variação do “Processo Rota Secções S/ Solar” .....	59
Tabela 4.19 – Resultado do F – Test.....	60
Tabela 4.20 – Resultado do t – Test.....	61
Tabela 4.21 – Análise aos tempos de rota do “Processo Rota Secções S/ Solar” .....	62
Tabela 4.22 – Cálculo do intervalo do nº de caixas a transportar por rota .....	66
Tabela 4.23 – Cálculo do Nível Sigma e DPMO do Teste “Carga Fixa” .....	67
Tabela 4.24 – Resultados Estatísticos do Teste “Carga Fixa” .....	67
Tabela 4.25 – Coeficiente de Variação .....	67
Tabela 4.26 – Resultado do F-Test .....	68

Tabela 4.27 – Resultado do t-Test .....	69
Tabela 4.28 – Análise aos tempos de rota do “Processo Carga Fixa” .....	71
Tabela 4.29 – Ganhos Financeiros.....	75
Tabela 4.30 – Objectivos definidos versus Objectivos atingidos .....	75
Tabela 4.31 – Resultados Estatísticos Rota Única.....	76
Tabela 4.32 – Cálculo do Nível Sigma e DPMO da Rota Única” .....	76

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Curva de distribuição normal.....	4
Figura 2.2 – Fórmulas de cálculo: DPO, Yield, DPMO .....	8
Figura 2.3 – Relação entre o Nível Sigma e o Yield do processo. Fonte: Kumar <i>et al.</i> , (2007).....	9
Figura 2.4 – Frequência dos CSF citados em 18 artigos (papers). Adaptado de Brun (2010) .....	17
Figura 2.5 – Questões de validação da conclusão de cada fase DMAIC. Adaptado de Pyzdek (2003). 19	
Figura 2.6 – Ciclo de selecção das causas do problema.....	23
Figura 2.7 – Validação das fases do ciclo DMAIC. Adaptado de <a href="http://www.media.techtargget.com">www.media.techtargget.com</a> .....	24
Figura 3.1 – Grupo BOSCH.....	25
Figura 3.2 – Grupo Consumer Goods and Building Technology .....	26
Figura 3.3 – Áreas sob a gestão do departamento de Logística (LOG) .....	27
Figura 3.4 – Comboio Logístico.....	29
Figura 3.5 – Rotas de abastecimento directo ao ponto de uso.....	30
Figura 3.6 – Rotas de abastecimento aos supermercados próximos do ponto de uso.....	30
Figura 3.7 – Sequência de trabalho do Milk Run .....	33
Figura 3.8 – Mapa de Rotas.....	35
Figura 4.1 – Fórmula de Cálculo da Eficiência .....	36
Figura 4.2 – Histograma “Rota Secções” .....	37
Figura 4.3 – Histograma “Rota Kanbans” .....	37
Figura 4.4 – Histograma “Rota Solar” .....	38
Figura 4.5 – Cartão magnético da “Rota Secções” .....	44
Figura 4.6 – Esquema da Rota, Paragem no Armazém e Pontos de Picagem .....	45
Figura 4.7 – Histograma da “Rota Secções” do mês de Janeiro 2011 .....	47
Figura 4.8 – Histograma da “Rota Secções” do mês de Fevereiro 2011.....	48
Figura 4.9 – Histograma da “Rota Secções” do mês de Março 2011 .....	48
Figura 4.10 – Histogramas da “Rota Secções” por turno: manhã (T1) e tarde (T2), Janeiro 2011 .....	51
Figura 4.11 – Histogramas da “Rota Secções” por turno: manhã (T1) e tarde (T2), Fevereiro 2011....	51
Figura 4.12 – Histogramas da “Rota Secções” por turno: manhã (T1) e tarde (T2), Março 2011 .....	51
Figura 4.13 – Fluxograma do Processo do turno da manhã (T1).....	53
Figura 4.14 – Diagrama Causa – Efeito .....	54
Figura 4.15 – Regressão Linear e Coeficiente de Correlação no turno: manhã (T1) e tarde (T2).....	55
Figura 4.16 – Matriz “Impacto Esforço”. Adaptada de <a href="http://www.systems2win.com">www.systems2win.com</a> .....	57

Figura 4.17 – Histograma do Teste: “Processo Rota Secções S/ Solar” .....	59
Figura 4.18 – Procedimento “Entregar uma quantidade fixa de caixas por rota” .....	64
Figura 4.19 – Esquema de funcionamento com 3 comboios logísticos .....	65
Figura 4.20 – Gráfico do nº de caixas transportadas por rota.....	67
Figura 4.21 – Box Plot – Comparação da variabilidade dos tempos de rota.....	72
Figura 4.22 – Carruagens do comboio logístico atreladas e no carril.....	73
Figura 4.23 – Cartões Kanban recolhidos na rota.....	74
Figura 4.24 – Histograma Rota Única, Junho e Julho 2011 .....	76
Figura A.1 – Relatório manual de rota, com registo de caixas movimentadas.....	83
Figura A.2 – Resultado do teste de regressão (T1).....	84
Figura A.3 – Resultado do teste de regressão (T2).....	85
Figura A.4 – Resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov .....	86
Figura A.5 – Resultado do teste Kolmogorov-Smirnov.....	87
Figura A.6 – Estatística de Teste Z.....	87
Figura A.7 – Resultados do teste de Regressão.....	89

## **ABREVIATURAS**

CSF's – Factores Críticos de Sucesso

DMAIC – Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar

DMADV - Definir, Medir, Analisar, Desenhar, Verificar

DPO – Defeitos por Oportunidade

DPMO – Defeitos Por Milhão de Oportunidades

GE – General Electric

LIE – Limite Inferior de Especificação

LSE – Limite Superior de Especificação

PPM's – Peças Defeituosas Por Milhão

POUP – Point of Use Provider

VOC – Voz do Cliente

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

Em muitas organizações, os defeitos e desperdícios existentes nos processos são desconhecidos e o seu custo ignorado.

O impacto deste custo na empresa, no lucro, na produtividade global e na satisfação do cliente, pode mesmo colocar em causa a sua competitividade. Nos dias de hoje, esta procura pelo aumento de competitividade é constante e a abordagem adoptada fará a diferença.

Uma organização que reduza globalmente os custos, pela melhoria contínua dos processos, que satisfaça os requisitos dos seus clientes, de forma eficaz e eficiente, pode produzir e prestar serviços de qualidade mais elevada a mais baixo custo. Mais importante do que apenas reduzir custos, é construir vantagens competitivas que proporcionem crescimento.

A Logística é uma actividade que influencia e contribui fortemente para este crescimento e ganho de competitividade.

Na Logística industrial, a actividade Logística Interna é um factor de diferenciação. Na Bosch, em particular, é considerada uma área estratégica.

Uma logística interna ineficiente pode gerar prejuízos financeiros consideráveis ao não entregar a quantidade certa no momento certo e provocar perdas de produção, ou seja, influenciar a capacidade da fábrica em produzir e entregar no prazo definido, afectando consequentemente a satisfação do cliente e o desempenho global.

O nível de flexibilidade na produção, isto é, a capacidade de produzir e mudar com elevada frequência de modelo, depende assim em grande parte da rapidez, da fiabilidade e do lead time do processo logístico interno.

É importante conseguir esta flexibilidade, rapidez e fiabilidade ao mais baixo custo. A essência do baixo custo está na eficiência dos processos.

Melhorar a eficiência do processo logístico significa maximizar a relação entre resultados e recursos, sendo para isso necessário eliminar todas as actividades que não acrescentam valor, eliminar defeitos e a variabilidade no processo, de forma a ser possível otimizar os recursos alocados.

É isto que a implementação da metodologia Seis Sigma permite a uma empresa, o ganho de competitividade pela redução de defeitos e variabilidade nos processos a um nível de precisão e qualidade próxima de Zero Defeitos.



A aplicação da metodologia Seis Sigma no trabalho que se segue, teve como objectivo melhorar vários indicadores de um processo logístico interno de entregas, a “Rota Secções”, conseguidos pela redução dos defeitos e da variabilidade.

O projecto desenvolvido seguiu os cinco passos do DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar), em que na fase Definir, o problema foi devidamente especificado, identificados os requisitos do cliente e definidos os objectivos a atingir com o projecto. Na fase Medir, foram recolhidos dados do “Tempo Rota” no processo em análise, ou seja, o tempo necessário para efectuar uma “Rota Secções”. Estes dados foram recolhidos através de um sistema de picagem de cartão magnético, na partida e na chegada de cada rota. Estes dados foram depois analisados na fase seguinte, a fase Analisar. Aqui identificaram-se as principais causas do problema. Na fase Melhorar, foram propostas várias soluções para a melhoria do problema. Estas foram avaliadas do ponto de vista “Esforço” necessário para a sua implementação versus “Impacto” nos objectivos definidos. As soluções escolhidas foram testadas, avaliadas e implementadas.

A fase Controlar, não foi aplicada a este projecto. As melhorias implementadas permitiram a integração de dois processos num só e como tal foi definido um novo processo e iniciado um novo projecto.

O trabalho que se segue está organizado da seguinte forma: neste primeiro capítulo, é feita a introdução ao tema desenvolvido neste trabalho, apresentada a estrutura do trabalho, a definição dos objectivos e a metodologia utilizada.

No Capítulo II, é feito o enquadramento teórico do tema Seis Sigma e da sua metodologia DMAIC.

No Capítulo III, é apresentado o Departamento de Logística da Bosch, com especial destaque na área da Logística Interna.

No Capítulo IV, é apresentado o caso de estudo, seguindo a metodologia DMAIC.

No Capítulo V, são apresentadas as conclusões do estudo e propostas melhorias.

## **CAPÍTULO 2 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO**

### **2.1. O que é o Seis Sigma?**

O Seis Sigma é um método, altamente disciplinado de recolha e tratamento de dados através de ferramentas estatísticas. Requer um forte envolvimento da gestão de topo e de uma hierarquia de colaboradores devidamente treinados, a hierarquia Belt.

É fortemente orientado para os resultados, tendo sempre o cliente como o impulsionador de qualquer melhoria. Visa a redução da variabilidade e defeitos nos principais processos. Se se conseguir medir o número de defeitos ou falhas num produto ou processo então podemos encontrar formas de sistematicamente os eliminar. Esta abordagem constitui o princípio básico do Seis Sigma, atingir “Zero Defeitos”.

As duas principais metodologias de melhoria associadas ao Seis Sigma são:

A metodologia DMAIC e DMADV (Define, Medir, Analisar, Desenhar e Verificar), sendo a primeira usada para a melhoria contínua de produtos ou processos já existentes enquanto a DMADV é utilizado para a concepção de novos produtos ou processos.

De uma forma mais detalhada e específica, o Seis Sigma pode ser definido por duas diferentes, mas complementares perspectivas: a perspectiva estatística e a perspectiva de estratégia de negócio.

#### **2.1.1. Perspectiva Estatística**

Em termos estatísticos, o objectivo do Seis Sigma é reduzir a variação, num produto ou processo, de modo a atingir um desvio padrão muito baixo. Dito de outra forma, o objectivo estatístico do Seis Sigma é centrar o processo no objectivo.

Em primeiro lugar, é preciso determinar o quanto de variação é aceitável para o cliente. Estes valores são usados para definir o limite inferior de especificação (LIE) e limite superior de especificação (LSE) e são os limites dentro dos quais o sistema deve operar, isto é, indicam os valores aceitáveis para o processo.

Se o desvio padrão for reduzido ao ponto em que seis desvios-padrão estejam dentro destes limites de especificação, então o objectivo do Seis Sigma foi atingido.

Tradicionalmente, o Seis Sigma é usado para representar uma gama de valores de uma população com uma distribuição normal, figura 2.1, já que matematicamente é expectável que 68,26% desses valores

se situem num intervalo que se situa entre  $-1\sigma$  e  $+1\sigma$ , 95,44% num intervalo que se situa entre  $-2\sigma$  e  $+2\sigma$  e 99,73% num intervalo que se situa entre  $-3\sigma$  e  $+3\sigma$ , relativamente à média da população.

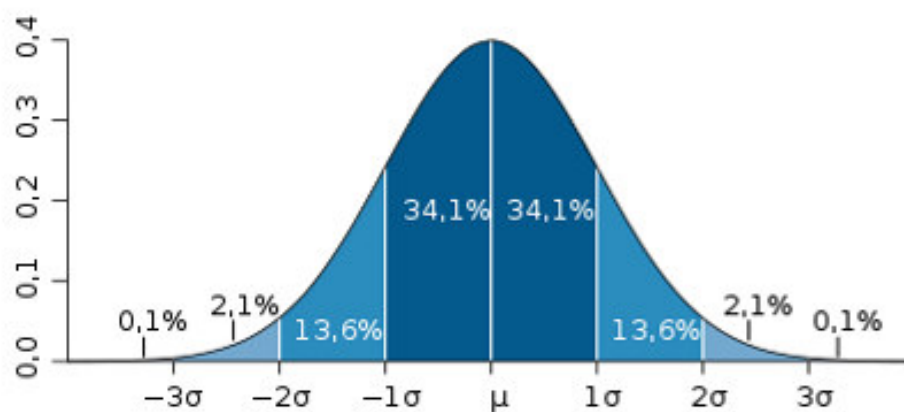


Figura 2.1 – Curva de distribuição normal

A natureza estatística do Seis Sigma é reflectida nesta citação de Harry e Schroeder (2000) que a descrevem como “*um método disciplinado que utiliza dados recolhidos com extremo rigor e análise estatística para identificar as fontes dos erros e formas de os eliminar*”. Igualmente, Summers (2007) cita ainda que uma característica chave do Seis Sigma “*é a utilização de técnicas estatísticas de uma forma sistemática para reduzir a variação e melhorar os processos com forte foco nos resultados*”. “O Seis sigma traduz um problema operacional num problema estatístico” (Goe e Xie, 2004)

### 2.1.2. Perspectiva Estratégica

Pela perspectiva de estratégia de negócio, Coronado e Antony (2002) definem o Seis Sigma como uma estratégia de melhoria usada para aumentar a rentabilidade, eliminar defeitos, reduzir custos resultantes de uma fraca qualidade, melhorar a eficiência e a eficácia de todas as operações, satisfazendo ou mesmo excedendo as necessidades e expectativas dos clientes.

Igualmente, Montes e Molina (2006) referem o Seis Sigma “*como filosofia ou uma abordagem de gestão*” baseada em princípios, intervenções e técnicas, sendo o princípio mais importante o foco no cliente.

Os gestores devem conhecer muito bem os requisitos dos clientes, conhecidos como Voice of Customer (VOC), para poderem definir e direccionar melhorias que vão ao encontro destes, de modo a

poderem satisfazer os ou mesmo superá-los. Qualquer que seja a melhoria definida, esta deve causar impacto na satisfação do cliente e na criação de valor.

A medição do nível de desempenho, de um processo ou serviço, deve começar com o cliente.

Segundo Pande *et al.*, (2000) uma vantagem do Seis Sigma é que esta satisfação é avaliada de uma forma objectiva: ou um produto / serviço atende os requisitos do cliente ou não. Qualquer coisa que não cumpra os requisitos do cliente pode ser considerado um defeito, como por exemplo, o atendimento antipático de uma recepcionista ou um atraso no prazo de entrega.

Ao conhecer o que é crítico para o cliente mais facilmente se podem alinhar os objectivos do negócio com os requisitos e expectativas deste.

O segundo princípio citado por Montes e Molina (2006), é a melhoria de processos e ou design de novos produtos. Este princípio baseia-se na gestão por factos, aprendizagem e aperfeiçoamento.

Pande *et al.*, (2006) definem "Melhoria de Processos como uma estratégia de busca de soluções para eliminar as causas de problemas de desempenho em processos já existentes na empresa".

O trabalho em equipa é outro princípio inerente ao Seis Sigma. O objectivo das equipas de melhoria, é corrigir os problemas ao eliminar as causas da variação do processo, ou seja, procuram as causas, os (X's) críticos, que originam os defeitos, os (Y's), produzidos pelo processo. Estas equipas são constituídas pelos designados Belts: Green Belts, Black Belts, Master Black Belts e *Champions*, grau atribuído de acordo com o conhecimento e especialização,

Recorrem às cinco etapas da metodologia DMAIC para resolver os problemas: Definem o problema e o que os clientes exigem, Medem os defeitos da operação e do processo, Analisam os dados e identificam as causas do problema, Melhoram o processo para eliminar as causas dos defeitos e Controlam o processo para que os defeitos não se repitam.

O objectivo final é criar empresas "Seis Sigma", empresas onde os processos e serviços funcionam a um nível de qualidade próximo de "Zero Defeitos". É neste sentido que Eckes (2000) afirma que "*as empresas vencedoras são aquelas que produzem bens e serviços de melhor qualidade a longo prazo*"

Para alcançar esse nível de qualidade são necessárias mudanças na cultura da organização. Segundo Markarian (2004) "*quando o processo Seis Sigma se torna parte da cultura da empresa, este pode ser expandido para melhorar os processos de negócio, tais como compras, logística, jurídico e recursos humanos*", sendo os Belts" são os facilitadores desta mudança.

## 2.2. Os “Belts”

Para apoiar e liderar de uma forma eficaz as iniciativas Seis Sigma é necessário existir na organização uma estrutura capaz disso mesmo.

Geralmente, esta estrutura é composta por elementos de toda a organização, desde a gestão de topo até aos operacionais e está organizada numa hierarquia de especialização conhecida como o “Sistema Belt”. A sua responsabilidade principal é fornecer conhecimento técnico e de liderança no sentido de facilitar a implementação de um projecto Seis Sigma.

Os elementos desta hierarquia são: *Champion*, Master Black Belt, Black Belts e Green Belts.

As principais funções de cada um deles são as seguintes:

- *Champion*: tem principalmente um papel estratégico. Deve definir uma estratégia de implementação, estabelecer objectivos, alocar recursos e acompanhar os progressos.

No DMAIC, desempenham um papel activo na fase Definir e um papel de suporte nas restantes fases. (Schroeder *et al.*, 2008)

- Master Black Belts: têm um papel mais de gestão. As suas funções incluem dar suporte aos *Champions* na identificação de projectos de melhoria e selecção, formação e coordenação de todo o trabalho dos Black Belt, bem como a aprovação e revisão de projectos concluídos.

- Black Belt: é o líder da equipa que está a tratar o problema e está alocado a 100% a projectos Seis Sigma. A sua função é uma função mais operacional sendo o responsável pela implementação das melhorias que incluem o assegurar a formação aos elementos da equipa, se necessário. Tem de ter conhecimentos para aplicar as ferramentas estatísticas, ser capaz de coordenar reuniões e ter capacidades de liderança de projectos.

A formação de um Black Belt é intensa e inclui o uso da metodologia DMAIC, isto é, como aplicar as ferramentas em cada uma das fases, como passar de fase para fase e como concluir o projecto, por isso mesmo, desempenham um papel activo em todas as fases.

- Green Belts: participam no projecto a tempo parcial em questões relacionadas directamente com a sua área de trabalho e tarefas do dia-a-dia. As suas funções incluem o dar suporte ao

Black Belt, por exemplo, na recolha de dados e no teste das soluções, desempenhando um papel activo na fase Medir, Analisar e Melhorar.

Hoerl (2001) refere-se aos Black Belts como sendo a “*espinha dorsal técnica*” das iniciativas Seis Sigma, os principais responsáveis pelo sucesso do projecto e pelos ganhos financeiros.

Em resumo, um Black Belt deve ser um líder com habilidades técnicas e orientado para os resultados.

Alguns artigos referem ainda os Yellow Belts, no entanto os graus acima são os mais comumente encontrados.

Ainda de acordo com Hoerl (2001) não existe um critério comum para atribuição dos graus acima referidos.

Por outro lado, é comum a todos os autores, a ênfase na necessidade de formação, como sendo um factor importante para o sucesso da implementação dos projectos Seis Sigma numa organização.

Não existe um número óptimo para uma equipa de coordenação de um projecto Seis Sigma. Este depende fortemente de factores tais como a complexidade do projecto e da organização onde o projecto vai ser implementado.

Um resumo por grau de especialização do Perfil, Função, Formação e Número de elementos por equipa, encontra-se na tabela 2.1

	Green Belts	Black Belts	Champions
Perfil	Background técnico Respeitado pelos pares Experiente em ferramentas básicas e avançadas	Habilitações Técnicas Respeitado pelos pares e pela Direcção Especialista nas ferramentas básicas e avançadas	Gestor Sénior. Líder respeitado e mentor dos assuntos do negocio. Forte defensor do Seis Sigma, faz as perguntas certas.
Função	Lidera equipas de melhorias no processo Lidera, treina e dá apoio nas ferramentas e análises Dá suporte ao Black Belt Normalmente, está no projecto a tempo parcial	Lidera projectos de melhoria estratégicos e de elevado impacto no processo Ensina e é mentor dos elementos da equipa multifuncional Lider do projecto a tempo inteiro Converte os ganhos em £ (ganhos financeiros)	Disponibiliza recursos e uma liderança forte para os projectos. Inspira uma visão partilhada. Define o plano e criar as infra-estruturas Desenvolve as métricas Converte os ganhos em £ (ganhos financeiros)
Formação	Duas sessões de três dias com um mês de intervalo para aplicar Revisão do projecto na sessão dois.	Quatro sessões de uma semana cada com três semanas de intervalo para aplicar Revisão do projecto na sessão dois, três e quatro	Uma semana de formação Champion Desenvolvimento do Seis Sigma e implementação do plano
Número	Um por cada 20 empregados (5%)	Um por cada 50 a 100 empregados (1 a 2%)	Um por grupo de negócio ou por grande fábrica

Tabela 2.1 – Caracterização dos “Belts”: Perfil, Função, Formação e Número.

### 2.3. Nível Sigma e DPMO: Medidas do nível de desempenho

A letra “σ” é uma letra grega que indica o desvio padrão de uma população, ou seja, representa a variabilidade, inconsistência, de um conjunto de valores relativamente à sua média.

O Nível Sigma é baseado no número de Defeitos Por Milhão de Oportunidades (DPMO) e esta é uma das inovações do Seis Sigma, a definição de métricas em termos de oportunidades de defeitos.

Em termos estatísticos é uma medida que indica a probabilidade de um erro voltar a ocorrer, sendo esta métrica normalmente usada para classificar o desempenho de um processo. Quanto maior for o Nível Sigma mais consistente é o processo, ou seja, um processo que opere a um nível 6σ é o equivalente a dizer que o processo é de elevada precisão e uma organização que opere a este nível é considerada de “Classe Mundial”, sendo que a maioria das organizações opera a um nível entre 2σ e 4σ.

Este conceito, de medição do nível de desempenho, pode ser aplicado tanto a processos físicos como serviços. Se aplicado a um processo físico é normalmente medido em Peças Defeituosas por Milhão (PPM's) e se aplicado a um serviço é apresentado em termos Defeitos Por Milhão de Oportunidades (DPMO).

Uma “Oportunidade”<sup>1</sup> é definida como qualquer hipótese de não conformidade ou não satisfação das especificações exigidas” (Mehrjerdi, 2011)

O valor DMPO, permite comparar o desempenho de produtos, serviços ou processos que diferem entre si. Como refere Brue (2000) “a métrica DPMO permite comparar maçãs com laranjas” e por isso pode ser usado como suporte à tomada de decisão sobre em que processo intervir primeiro e como métrica de comparação entre o processo antes e depois das melhorias introduzidas.

O cálculo de medidas baseadas em Oportunidades é feito com base nas fórmulas da figura 2.2

$DPO = \frac{\text{Nº de defeitos}}{\text{Nº de unidades} \times \text{Nº oportunidades}}$
$\text{Yield} = (1 - DPO) \times 100$
$DPMO = DPO \times 1.000.000$

Figura 2.2 – Fórmulas de cálculo: DPO, Yield, DPMO

---

<sup>1</sup> Por exemplo, uma refeição servida num restaurante pode ter como “Oportunidades”: a temperatura da comida, a quantidade, o tempo de serviço, o custo, entre outros.

Um valor DPMO pode ser convertido para o respectivo Nível Sigma. Exemplos desta conversão podem ser encontrados na tabela 2.2.

DPMO	Sigma
697000	0.98
308733	2.00
66803	3.00
6210	4.00
233	5.00
3.4	6.00

Tabela 2.2 – DPMO versus Nível Sigma

1 $\sigma$  representa 691.462,5 Defeitos Por Milhão de Oportunidades, que se traduz num output sem defeitos (Yield) de apenas 30,854%. Isto é, obviamente, um desempenho muito mau.

Por outro lado, atingir 6 $\sigma$  significa que o processo gera apenas 3,4 Defeitos Por Milhão de Oportunidades (DPMO), o que significa estar a trabalhar muito perto do objectivo “Zero Defeitos”.

*“Uma melhoria no valor sigma do processo, mesmo que relativamente pequena, pode reduzir drasticamente a taxa de defeitos, aumentar a satisfação do cliente e trazer benefícios financeiros”* (Laureani *et al.*, 2010).

É no entanto importante referir que, em termos económicos, a partir de um certo ponto pode deixar de ser rentável aumentar o Nível Sigma do processo, especialmente se as mudanças neste implicarem elevado investimento. Esta relação está explicada na figura 2.3.

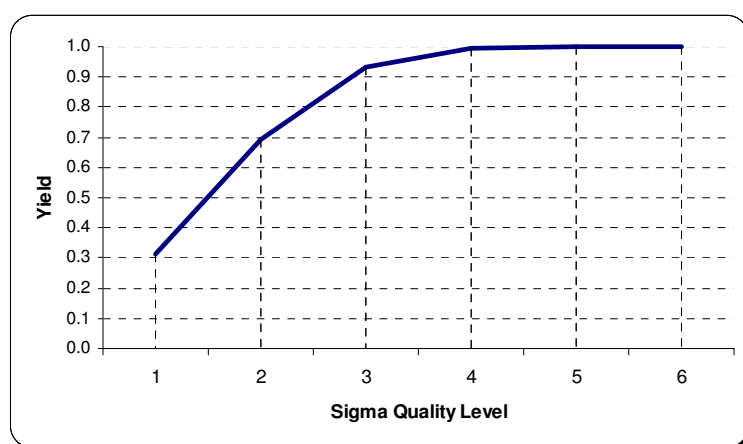


Figura 2.3 – Relação entre o Nível Sigma e o Yield do processo. Fonte: Kumar *et al.*, (2007)



À medida que aumenta o Nível Sigma, o retorno do aumento do desempenho do processo (Yield) é cada vez menor.

O esforço e investimento necessário para melhorar um processo de um nível  $5\sigma$  para  $6\sigma$  é muito superior ao esforço e investimento necessário para melhorar um processo de  $3\sigma$  para  $4\sigma$ . É neste sentido que Linderman *et al.* (2003) afirma que “*nem todos os processos devem operar a um nível de 6 sigma. O nível adequado vai depender da importância estratégica do processo e dos custos da melhoria relativamente ao benefício*”.

É importante que as organizações entendam esta relação custo benéfico de forma que os investimentos feitos possam gerar retornos, de outra forma, tal como qualquer outra metodologia de melhoria, a implementação do Seis Sigma será menos bem sucedida.

## **2.4. Seis Sigma: Breve História e resultados da sua aplicação na Indústria**

Inicialmente, o Seis Sigma foi entendido como um programa capaz de beneficiar grandes empresas industriais, por lidar com processos repetitivos onde o fluxo de materiais ao longo da linha era fácil de perceber e controlar.

A General Electric (GE), a Motorola e a Honeywell, todas elas grandes empresas industriais, foram as primeiras organizações a implementar o Seis Sigma, sendo no entanto a sua origem atribuída à Motorola.

O conceito inicial foi desenvolvido, em 1987, pelo estatístico Mikel Harry, que trabalhava na Motorola, e que foi um dos principais fundadores da “Six Sigma Academy” em Scottsdale, no Arizona. Nos anos 80 e início dos anos 90, a Motorola estava a ser largamente ultrapassada pelos seus concorrentes Japoneses, pois a qualidade dos seus produtos estava longe de atingir níveis aceitáveis. Os vários programas de Qualidade até aí implementados revelaram-se ineficazes. Em 1987 tentaram uma nova abordagem, um novo conceito de melhoria a que chamaram Seis Sigma.

Os resultados foram extraordinários. Segundo Montes e Molina (2006) o lucro líquido da Motorola, Inc, disparou de 2.3 biliões de dólares em 1978, para 8.3 biliões de dólares em 1988.

Em apenas dois anos após o lançamento do Seis Sigma, a Motorola recebeu o prémio “Malcom Baldrige National Quality”.

O que o Seis Sigma proporcionou à Motorola foi uma forma simples e consistente de monitorizar e comparar o desempenho com os requisitos do cliente e um objectivo ambicioso de qualidade quase perfeita. (Pande *et al.*, 2000)

A AlliedSignal (antiga Honeywell) é outro exemplo de uma implementação sucedida do Seis Sigma.

Em 1999, graças ao alargado treino ministrado aos seus colaboradores na aplicação dos princípios do Seis Sigma, a organização reportou poupanças de 600 milhões dólares por ano. No ano anterior, tinha reportado um aumento de 6% de produtividade, 27% de crescimento de valor de mercado e 13% de margem de lucro, a mais alta de sempre.

Os resultados alcançados foram desde a redução de custos de retrabalho de defeitos ao design de novos produtos.

Em meados dos anos 90, a GE adopta o Seis Sigma por forte influência dos resultados atingidos na AlliedSignal. Até então, o seu CEO, Jack Welsh, afirmava que os programas de Qualidade eram *“fortes nos slogans mas fracos em resultados”*.

Em 1995, traçou como objectivo atingir no ano 2000 o nível  $6\sigma$  em todos os seus produtos e serviços. O ponto de partida situava-se entre os  $3\sigma$  e os  $4\sigma$ , cerca de 35.000 Defeitos Por Milhão de Oportunidades (DPMO), o equivalente a desperdiçar entre 7 e 10 biliões de dólares por ano em sucata, retrabalho, correcção de transacções, ineficiências e perda de produtividade.

Para que a GE pudesse atingir o nível  $6\sigma$  em 2000, J. Welsh afirmou numa conferência *“vai exigir-nos reduzir 10.000 vezes a taxa de defeitos, cerca de 84% por ano, durante 5 anos consecutivos”*.

A GE percebeu que este objectivo só poderia ser atingido se investisse fortemente na formação dos seus colaboradores. Foram gastos milhões de dólares na formação de *“Belts”* a vários níveis, mas o retorno do programa Seis Sigma ultrapassou largamente este investimento.

Harry e Schroeder (2000) afirmam que o Seis Sigma transformou a GE, de uma gigante indústria em dificuldades, numa organização com crescimento intenso, competitivo e ágil.

Resultados adicionais aos citados acima encontram-se na tabela 2.3.

Organização	ROI (Retorno do Investimento)
Motorola	<b>1987-1994</b>
	• Redução dos defeitos no processo em 200 vezes
	• Redução dos custos de produção num total de 1.4 biliões de dólares
	• Aumento de 126% da produção por colaborador , tendo por base o dólar
	• Aumento do valor das acções para o accionista em 4 vezes
	• Redução de custos no total de 1.4 biliões de dólares
	• Crescimento de 14% por trimestre
AlliedSignal	<b>1992 - 1996</b>
	• Crescimento de 520% no preço das acções
	• Redução de 16% no tempo de introdução de novos produtos
	• Redução de 24% no ciclo das facturas
General Electric	<b>1995 - 1998</b>
	• Poupança global acima de 1 bilião de dólares
	• Estimativa de poupança de 6.6 biliões de dólares anuais em 2000

Tabela 2.3 – ROI do Seis Sigma. Fonte: [www.airacad.com/PaperSixSigma](http://www.airacad.com/PaperSixSigma)

## 2.5. O Seis Sigma em áreas não industriais

Ainda que a implementação do Seis Sigma tenha sido iniciada nos processos industriais, onde os defeitos podem ser claramente definidos e medidos, a sua aplicação rapidamente se estendeu a outras áreas.

Segundo Kwak e Anbari (2006), esta expansão deveu-se ao facto de as organizações terem sido capazes de relacionar os benefícios do Seis Sigma, apresentados em termos financeiros, com a redução de custos resultantes das melhorias dos processos. Estes benefícios podem ir desde a simples redução de defeitos até à melhoria da quota de mercado e vantagem competitiva da organização (Kumar et al., 2008)

Em 2004, o Seis Sigma tornou-se um verdadeiro fenómeno global, firmemente estabelecido em todos os sectores da indústria. De facto, em 2005 no “Six Sigma Summits”, que teve lugar em Londres e Amesterdão, mais de 50% dos delegados vieram de fora do sector ligado à produção.

Seguem-se exemplos de projectos Seis Sigma, encontrados na literatura, em áreas não industriais.

### 2.5.1. Saúde

Sendo o Seis Sigma uma metodologia cujo principal objectivo é a redução da variabilidade nos processos como forma de atingir qualidade quase perfeita, é ideal para aplicar na área da saúde. Os autores Taner, *et al.*, (2007) afirmam que o Seis Sigma “*é uma das mais poderosas metodologias de melhoria de desempenho que está a mudar a face da prestação dos cuidados de saúde modernos*”.

São inúmeros os casos de estudo encontrados na literatura sobre a aplicação dos Seis Sigma na área da Saúde.

Seguem-se alguns dos exemplos:

- Caso de estudo da colocação de prótese da anca, no Paijat – Hame Hospital Distrit, na Finlândia (Peltokorpi e Kujala, 2006)

Este estudo teve como objectivo analisar qual o custo total de um episódio de colocação de uma prótese na anca de um paciente, tendo por base o tempo total do processo, sendo o tempo total do processo o tempo que decorre desde os primeiros sintomas do paciente até ao seu último contacto com os serviços de saúde primários.

Foram analisados vinte e três episódios de prótese da anca através da metodologia DMAIC.

Depois de definido o grupo de pacientes e processos a analisar, recolhidos os dados e analisadas as causas, chegou-se à conclusão que a principal causa para o aumento do tempo total de um episódio de um paciente era o tempo que decorria entre os primeiros sintomas e a recomendação para cirurgia. O estudo conclui ainda que a principal poupança podia ser alcançada pela diminuição do tempo de atraso na decisão de cirurgia até à cirurgia propriamente dita.

Estas conclusões permitiram identificar as ineficiências e os gargalos do processo e paralelamente definir soluções de melhoria.

- Segundo Elsberry (2000), no Anderson Cancer Center, a implementação do Seis Sigma reduziu, em muitos casos, o tempo de preparação de um paciente para um exame CT, de 45 minutos para menos de 5 minutos, e reportou um aumento de 45% nos exames efectuados sem máquinas adicionais ou turnos.

Segundo Kwak e Anbari (2006), outras implementações bem sucedidas foram por exemplo, a melhoria no tempo e rigor nos pedidos de reembolso, a simplificação no processo de prestação de cuidados médicos e a redução do inventário de equipamento cirúrgico e respectivos custos. Taner *et al.*, (2007) citam ainda como exemplos a diminuição de exames de laboratório desnecessários, melhoria da ressonância magnética e qualidade de imagem, redução das infecções de cateter.

O Seis Sigma pode ainda ser aplicado nos seguintes processos, tendo como objectivo, por exemplo, o aumento da capacidade nas salas de raio-X, a redução das admissões evitáveis no serviço de emergência, a melhoria da satisfação dos pacientes na sala de emergência e a redução dos erros de medicação de alto risco.

### **2.5.2. Hotelaria**

Em qualquer projecto Seis Sigma é importante conhecer as expectativas do cliente e as suas especificações.

No caso de estudo apresentado por Eckes (2000), o Westin Hotel, estava com dificuldades em atingir os objectivos, em particular o objectivo de maximização do lucro por quarto.

Sendo o Serviço de Quartos uma das principais actividades do hotel e a que maior impacto tinha na margem de lucro, esta actividade foi seleccionada para um projecto Seis Sigma.

Foram realizados estudos de satisfação junto do cliente e identificados os principais requisitos a atingir, sendo um deles o tempo de entrega de uma refeição no quarto até 30 minutos.

O tempo de entrega médio de uma refeição no quarto era de 26 minutos, e as análises efectuadas evidenciaram que em apenas  $3\sigma$  os 30 minutos eram atingidos.

Com o objectivo de melhorar o Serviço de Quartos, a equipa definiu medidas para reduzir não só a média do processo como também a variabilidade do mesmo, ou seja, o desvio padrão.

As melhorias implementadas foram sucedidas e um novo método de trabalho implementado, bem como medições regulares aos pontos-chave do processo.

### **2.5.3. Banca**

Nos Estados Unidos, o Bank of America e o Citigroup foram organizações que investiram fortemente no Seis Sigma e que beneficiaram com a sua implementação (Parast, 2011).

Os projectos conduzidos no Bank of America, tiveram como objectivo simplificar as operações, atrair e reter clientes e resolver problemas.

Foi reportado um aumento de 10.4% na satisfação do cliente e 24% de redução de problemas após a implementação do Seis Sigma (Kwak e Anbari, 2006)

Na literatura, encontram-se ainda outros exemplos de projectos Seis Sigma, nesta área, que tiveram como objectivo reduzir o tempo de ciclo e variação na cobrança de dinheiro, reduzir os defeitos na documentação do crédito e melhorar a exactidão nos relatórios.

#### **2.5.4. Outros exemplos**

De acordo com Montes e Molina (2006), o Seis Sigma pode ainda ser implementado tendo como objectivo a:

- Melhoria do tempo de entrega;
- Redução do tempo de ciclo na contratação e treino de novos colaboradores;
- Melhoria da Logística;
- Melhoria na capacidade de previsão de vendas;
- Melhoria da qualidade no serviço ao cliente;

Mas nem todos os casos de implementação do Seis Sigma foram sucedidos.

Num inquérito conduzido pela revista Aviation Week, envolvendo as maiores companhias de aviação, menos de 50% das companhias inquiridas expressaram satisfação com os resultados obtidos, cerca de 20% manifestaram uma satisfação moderada e 30% insatisfação. (Kumar et al., 2008)

Alguns autores defendem que a culpa do insucesso não está na metodologia em si, mas na forma como esta é implementada e gerida.

Coronado e Antony (2002) referem David Fitzpatrick, líder mundial da Deloitte Consultant's Lean Enterprise, que afirma que menos de 10% das empresas estão a implementar o Seis Sigma em tempo útil ao ponto de afectar o balanço patrimonial e o preço das acções.

Qualquer organização que pretenda implementar o Seis Sigma com sucesso, deve ter em conta os factores chave descritos no ponto que se segue.

## **2.6. Factores chave na implementação do Seis Sigma**

São vários os factores que determinam o sucesso ou o fracasso da implementação de um programa Seis Sigma numa organização. Estes factores são designados por “Critical Success Factors” (CSF) e representam os ingredientes essenciais sem os quais um projecto tem pouca hipótese de sucesso.

O envolvimento, o suporte contínuo e o entusiasmo da gestão de topo é apontado por muitos estudos, por exemplo Kwak e Anbari (2006) e Antony e Banuelas (2002), como o factor mais importante. Este envolvimento credibiliza a iniciativa e prepara a organização para outro factor importante que é a mudança cultural.

A introdução do Seis Sigma implica mudança de mentalidade e de atitude a todos os níveis, sendo o seu objectivo máximo “fazer bem à primeira”. Os colaboradores têm de estar preparados para aceitar responsabilidade pela qualidade do seu próprio trabalho.

A possível resistência à mudança pode ser minimizada pela motivação e comunicação. Um plano de comunicação que envolva os colaboradores, que demonstre os benefícios do Seis Sigma na organização e no seu trabalho, que explique o como e o porquê é outro dos factores apontados como fundamental.

Em adição aos factores já referidos, um outro aspecto importante a considerar são as infra-estruturas organizacionais. Estas já devem estar presentes na organização, para dar suporte à introdução e desenvolvimento da iniciativa, tais como a boa capacidade de comunicação, estratégia de longo prazo, trabalho em equipa, recursos suficientes e investimento. Segundo Kwak e Anbari (2006) se o compromisso e o suporte para o uso de vários recursos não existir, a organização deve provavelmente considerar não adoptar o Seis Sigma.

A formação é outro dos factores chave para uma implementação bem sucedida, devendo começar pelo topo e ser ministrada a toda a organização. Durante o treino em Seis Sigma, os colaboradores devem aprender as ferramentas e técnicas disponíveis para posteriormente seleccionarem e aplicarem as que mais se adaptam à sua organização. É fundamental formar e treinar um grupo de colaboradores para que eles conduzam os projectos, sendo por isso a aquisição de competências em gestão de projectos mais um factor a ter em consideração. A formação deve também preparar este grupo de colaboradores para serem os agentes da mudança e difundir a filosofia na organização, já que o Seis Sigma deve ser encarado como uma filosofia e não como mais uma actividade isolada que faz uso de algumas ferramentas e técnicas usadas na melhoria da qualidade.

O Seis Sigma deve obrigatoriamente estar ligado à estratégia de negócio. Este factor condiciona a selecção de projectos, já que estes têm de criar impacto nos resultados operacionais e financeiros da organização.

Também tem de ser claro de que forma é que projectos estão ligados aos requisitos do cliente, de forma a definir objectivos que vão ao encontro destes.

*“Ligar o Seis Sigma à estratégia de negócio e às necessidades do cliente é fundamental para uma implementação sucedida”* (Chakravorty, 2009)

O desdobramento dos objectivos do projecto em objectivos individuais e a recompensa pelo cumprimento dos mesmos é outros dos factores que contribui para o sucesso, no sentido que encoraja uma correcta selecção dos projectos e incentiva a sua conclusão.

Finalmente, um último factor a ter em consideração é a ligação dos Seis Sigma aos fornecedores. Ao contrário das abordagens tradicionais, é preferível seleccionar poucos fornecedores mas fornecedores com elevado desempenho e assim reduzir a variabilidade logo no início do processo.

O gráfico abaixo, figura 2.4, mostra o resultado da frequência de citações de cada um destes factores, numa amostra de dezoito artigos (papers).

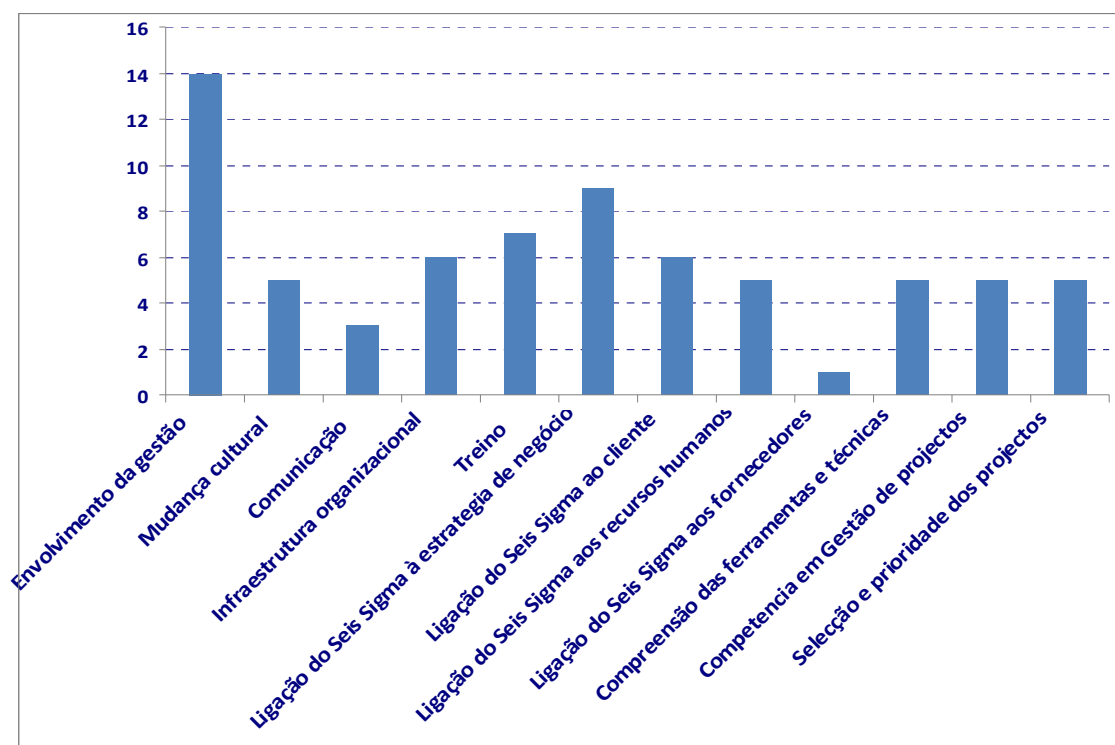


Figura 2.4 – Frequência dos CSF citados em 18 artigos (papers). Adaptado de Brun (2010)



## 2.7. Limitações na implementação do Seis Sigma

Apesar da sua vasta aplicação, Tang *et al.*, (2007), afirmam que o Seis Sigma “*tem suas limitações inerentes e não pode ser uma solução universal para qualquer organização em qualquer situação*”.

Existem mesmo organizações, nos quais a aplicação do Seis Sigma é inapropriada, irrelevante e impraticável, devido à sua orientação para a medição dos resultados. Exemplo disso são as Universidades e as orquestras. Não faz sentido expressar os seus níveis de desempenho, melhorias, criatividade, inovação e empreendedorismo, através de uma métrica focada na medição de defeitos.

“ *O formato Seis Sigma [...] é largamente conservador e defensivo, a obsessão com as contagens e redução dos DPMO é um desincentivo para o pensamento pró-activo e para a mudança*”. (Goe e Xie, 2004).

Segundo os críticos, o Seis Sigma preocupa-se muito em eliminar os defeitos sem ter em conta os seus efeitos.

## 2.8. Metodologia DMAIC: Um modelo de melhoria

A metodologia DMAIC é uma metodologia sistemática de melhoria, usada para resolver problemas e melhorar processos. É composta por cinco fases, que integram ferramentas específicas em cada uma delas. As cinco fases são: Definir (*Define*), Medir (*Measure*), Analisar (*Analyse*), Melhorar (*Improve*) e Controlar (*Control*).

Inicialmente, o DMAIC foi concebido para projectos relacionados com Qualidade, focados na redução de defeitos. Esta metodologia tornou-se mais abrangente e passou a ser aplicada em projectos de aumento de produtividade, redução de custo, melhoria de processos administrativos, entre outros.

Segundo Pyzdek (2003), “*O DMAIC é usado quando o objectivo de um projecto pode ser atingido pela melhoria de um produto, processo ou serviço existente*”.

Sendo um método estruturado, evita o avançar para a fase seguinte sem antes se concluir a fase em curso, o que permite e facilita que a equipa de projecto se foque em encontrar soluções em vez saltar para as conclusões.

As seguintes questões, adaptadas de Pyzdek (2003), ajudam a validar a conclusão de cada uma das fases, ver figura 2.5.

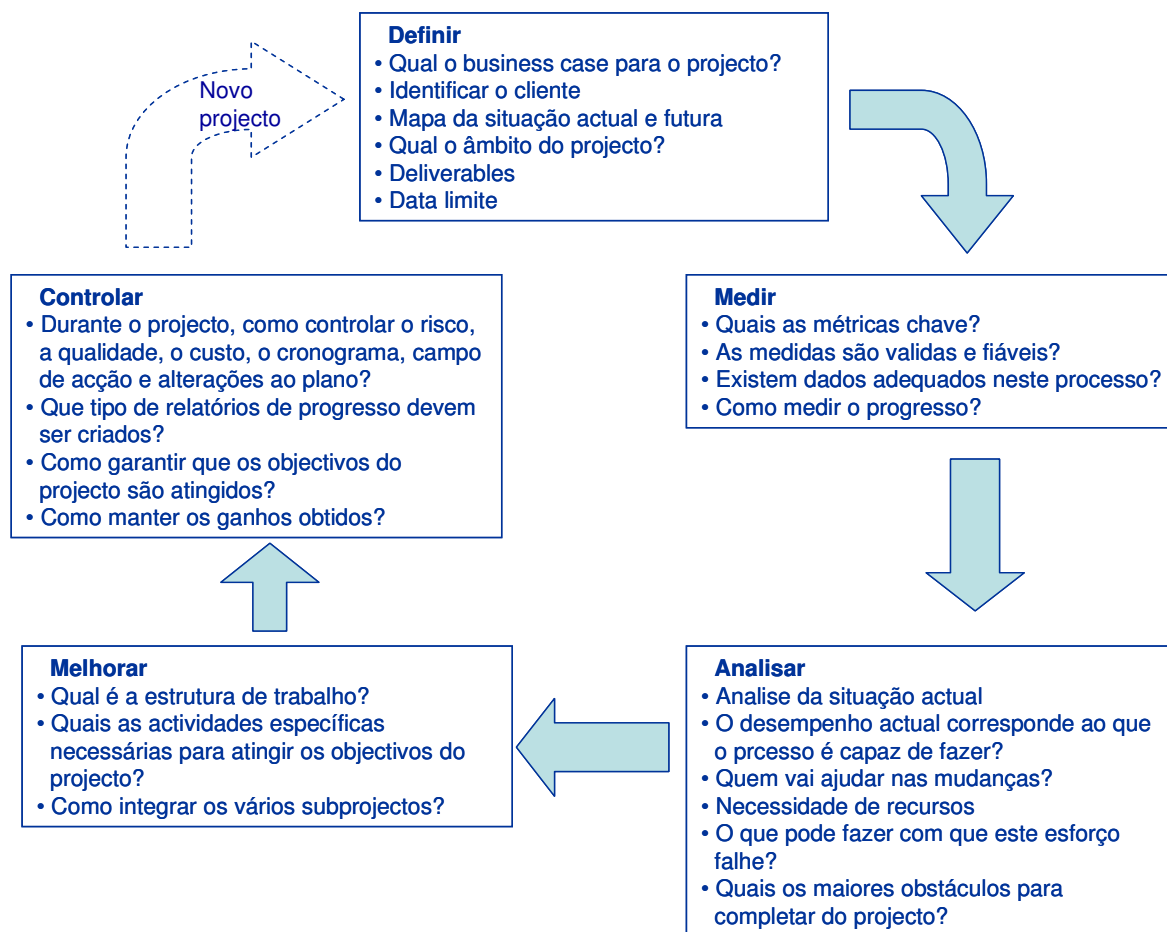


Figura 2.5 – Questões de validação da conclusão de cada fase DMAIC. Adaptado de Pyzdek (2003)

Segue-se uma definição mais detalhada das cinco fases da metodologia DMAIC.

### 2.8.1. Definir (*Define*):

Na fase Definir, o principal objectivo é definir claramente o problema a ser resolvido. Este deve estar alinhado com os business requirements, prioridades do negócio e expectativas do cliente.

Tang *et al.* (2006) considera que a fase Definir, quando correctamente elaborada, é determinante para o sucesso do projecto.

São 3 os principais *deliverables* desta fase:

- a) Mapa do processo
- b) Carta do projecto
- c) Voice of Customer (VOC)

#### a) Mapa do processo

A fase Definir, normalmente, inicia-se com o mapear do processo. O objectivo deste mapeamento é conhecer o processo com mais detalhe, identificar problemas, oportunidades de melhorias e desperdícios a eliminar.

Posteriormente, define-se um projecto para a resolução do problema(s) identificado como prioritário.

#### b) Carta de projecto

Para a especificação do projecto deve recorrer-se à ferramenta “Carta de projecto”, que não é mais do que um documento com informação sobre o projecto a implementar. Deve especificar exactamente o projecto a desenvolver, a equipa, a duração, o âmbito, o enquadramento do projecto com os requisitos do negócio, definir o problema com dados quantitativos, definir os objectivos a atingir, os custos e ganhos associados, as milestones, riscos e barreiras e o plano de comunicação.

Uma carta de projecto bem elaborado facilita o alinhamento entre os membros da equipa relativamente à necessidade do projecto, do impacto deste na organização, e dos objectivos a atingir.

#### c) Voice of Customer (VOC)

Segundo Pyzedk (2003), os objectivos mais importantes são obtidos junto dos clientes, por isso os objectivos definidos no projecto devem estar alinhados com os requisitos destes. Não adianta introduzir melhorias no processo se estas não forem ao encontro das suas expectativas. É neste sentido que Chakravorty (2009) afirma que a primeira regra do Seis Sigma é “*ouvir a voz do cliente*”.

Posteriormente, e de forma a ser possível medir é necessário traduzir a “Voz do Cliente” (VOC) para requisitos mensuráveis.

Num estudo elaborado por Cronemyr e Witell (2008), os autores mostram como o feedback de clientes insatisfeitos pode ser usado como condutor de melhorias num processo. É ainda citado um estudo efectuado em 22 grandes empresas, onde o valor gasto anualmente em sistemas de feedback dos clientes ascende a um milhão de dólares. Os autores do estudo concluíram que o problema não está na recolha dos dados mas sim em como usar esses dados uma vez recolhidos.

A fase Definir pode ser considerada terminada, quando o Carta do projecto estiver preenchida, o processo mapeado e os requisitos do cliente convertidos em objectivos mensuráveis. Estes são a base para a recolha de dados na fase que se segue, a fase Medir.

### 2.8.2. Medir (*Measure*)

Nesta fase mede-se o sistema actual. São definidas métricas para monitorizar a evolução do sistema em relação aos objectivos definidos na fase anterior. A definição das métricas é o factor chave desta fase.

*“Sem factos, nem medidas, a equipa ficará perdida num mar de subjectividade e não irá a parte alguma”.* (Pande *et al.*, 2002)

É no entanto muito importante saber que dados recolher, o que se pretende medir com eles e ter a certeza que se está a medir pelas razões certas – alinhamento com o cliente –.

Os dados devem ajudar a responder a questões específicas, tais como “qual o desempenho deste processo?”, “qual é o impacto da variação no cliente?”, “onde estão as causas deste problema?”.

Obter dados permite ter um conhecimento mais profundo do processo em análise e com isso estreitar o leque de possíveis causas do problema, causas essas que serão analisadas na fase seguinte, a fase Analisar.

Para a recolha destes dados, é importante mencionar que *“qualquer que seja o sistema de medição escolhido, este obrigatoriamente deve ser mantido até ao fim do projecto, para que o desempenho do processo, antes e depois do projecto, possa ser comparado”* (Linderman *et al.*, 2003).

Segundo Pande *et al.* (2002) existem quatro conceitos básicos para Medir:

1. Primeiro observa-se, depois mede-se;
2. Saber a diferença entre medida (variável) discreta e medida (variável) contínua;
3. Medir por uma razão;
4. Ter um processo de medida;

Normalmente, dados contínuos são preferíveis porque dão uma maior noção da variação real do processo. No entanto, dados contínuos podem ser transformados em dados discretos, de acordo com a tabela 2.4.

Variável contínua	↔	Variável Discreta
Tempo de espera por chamada		Nº de chamadas em espera acima de 30 segundos
Temperatura média por hora		Horas com temperatura acima de 15º C
Tempo para embarque no avião		Nº de embarques atrasados
Quantidade de gasolina no depósito		Depósito vazio/não vazio
Largura do chip		Chips fora de especificação
Custo por unidade		Unidades que excedem o objectivo de custo

Tabela 2.4 – Transformação de uma variável contínua em discreta e vice-versa

Esta fase termina com a validação ou reformulação do problema e inicia-se a busca pela raiz do problema na fase seguinte, a fase Analisar.

### 2.8.3. Analisar (*Analyse*)

O objectivo desta fase é identificar e verificar as causas primárias do problema.

O desempenho actual é tomado como base e pretende-se identificar formas de eliminar a diferença entre o desempenho actual e o objectivo futuro.

A equipa deve ter muitas evidências nos dados recolhidos no processo para poder formular teorias sobre as causas dos defeitos.

A análise dos dados vai permitir encontrar padrões, tendências e outras diferenças que possam sugerir, suportar ou rejeitar as teorias. Já a análise ao processo, permite identificar tarefas que não acrescentam valor para o cliente, tais como retrabalho e tempos de paragem.

Qualquer que seja a hipótese formulada, ela deve contribuir para o problema em estudo e ser verificada pelos dados recolhidos.

A análise das causas primárias deve ser feita em 3 fases:

- 1) Explorar, investigar os dados e o processo sem ideias pré-concebidas;
- 2) Criar hipóteses sobre as causas, identificar as causas mais prováveis;
- 3) Verificar ou eliminar causas.

É expectável fazer o ciclo Explorar – Hipótese – Verificar várias vezes antes se apontarem as causas do problema. Tang *et al.* (2006) traduz este ciclo no esquema da figura 2.6

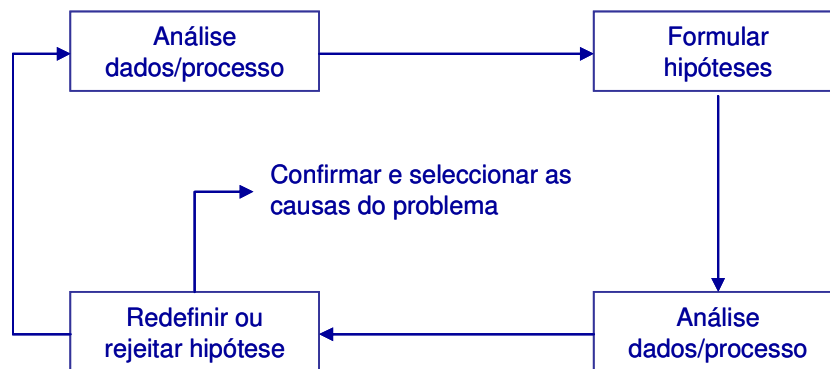


Figura 2.6 – Ciclo de selecção das causas do problema

#### 2.8.4. Melhorar (*Improve*)

Esta fase tem como objectivo encontrar e implementar soluções que eliminem o problema, reduzam a variação no processo ou previnam que um problema se repita.

Segundo Pyzdek (2003), deve-se “*ser criativo em encontrar novas formas de fazer as coisas melhor, mais barato ou mais rápido*”.

Os resultados das melhorias implementadas devem ser documentados e continuamente monitorizados de forma a institucionalizar o novo sistema e não se cair em velhos hábitos. O novo sistema só deve ser ajustado quando os dados assim o indicarem ou quando mudarem os requisitos do cliente.

#### 2.8.5 Controlar (*Control*)

Nesta fase controlam-se as melhorias implementadas, ou seja, o novo sistema. Devem ser definidas acções para garantir que o processo é monitorizado continuamente de modo a assegurar que as variáveis chave se mantêm dentro dos limites especificados. Isto pode implicar a definição de novos standards e procedimentos, treinar os colaboradores no novo processo e definir novas medidas assegurar a sustentabilidade dos ganhos.

Pande *et al.* (2002) define controlo como “manter um processo cujo funcionamento é estável, previsível e que atende aos requisitos do cliente”.

Na figura 2.7, são sumarizadas as questões e critérios a serem abordados em cada uma das fases. Funcionam como “auditoria”. Só depois de respondidos é que se pode avançar para a fase seguinte. Terminado o ciclo, que se inicia na fase Definir e termina na fase Controlo, define-se um novo projecto.

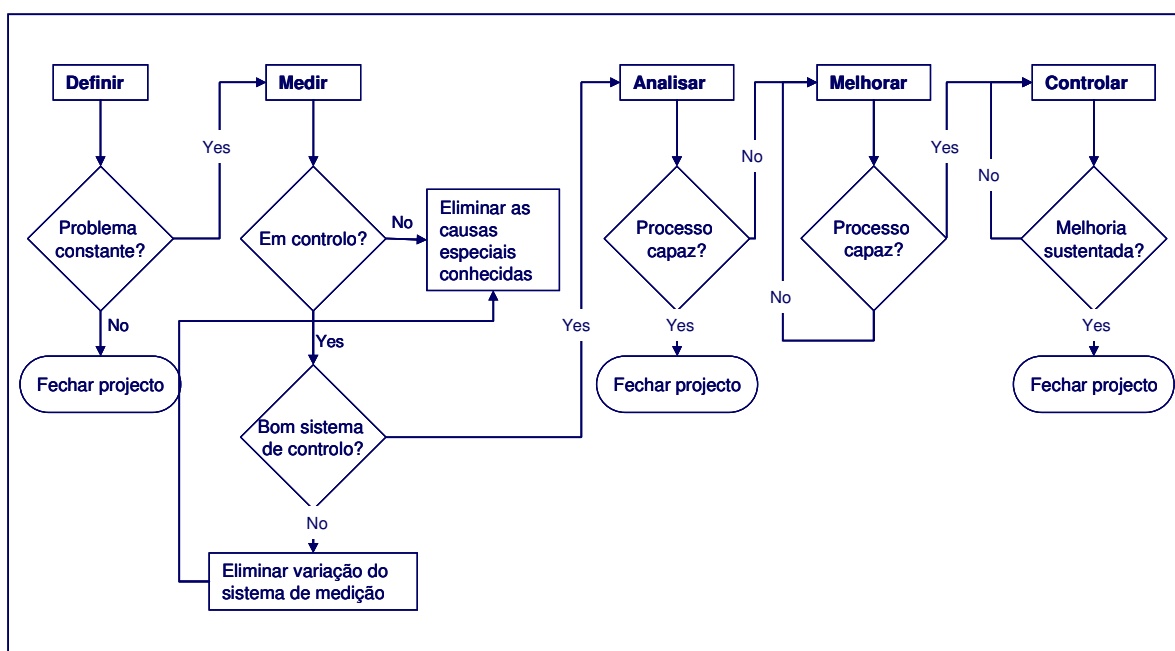


Figura 2.7 – Validação das fases do ciclo DMAIC. Adaptado de [www.media.techtarget.com](http://www.media.techtarget.com)

Em suma, “a fase *Definir* estabelece os objectivos para o projecto Seis Sigma, as fase *Medir* e *Analisar* caracterizam o processo, e as fases *Melhorar* e *Controlar* optimizam o processo e mantêm-no” (Brue, 2002).

O projecto a seguir apresentado seguiu a metodologia DMAIC. Apesar dos muitos exemplos encontrados na literatura, alguns dos quais já citados neste capítulo, não foi encontrado nenhum exemplo da aplicação desta metodologia à área da logística interna, razão pela qual este trabalho pode ser considerado inovador e uma extensão às áreas onde o Seis Sigma já foi implementado.

## CAPÍTULO III – A LOGISTICA NA BOSCH AVEIRO

### 3.1. Apresentação do Grupo BOSCH

O Grupo BOSCH está dividido em três grandes Grupos: Automóvel, Tecnologia Industrial e Bens de Consumo, tal como representado na figura 3.1.

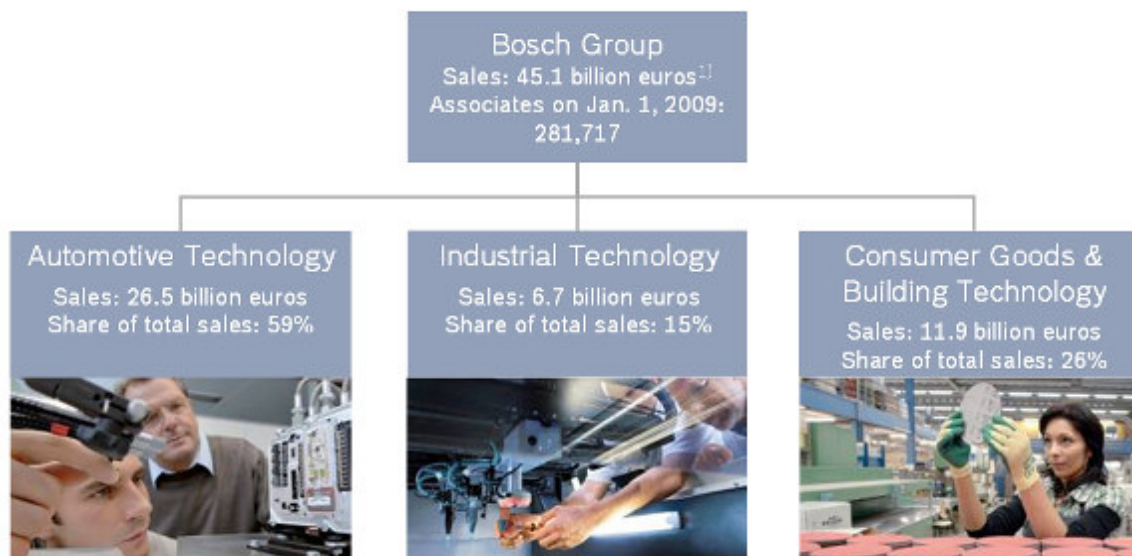


Figura 3.1 – Grupo BOSCH

O Grupo BOSCH não está cotado na bolsa. 92% do Grupo é detido pela fundação Robert Bosch Stiftung, 7% pela Família Bosch, e o restante 1% pela Robert Bosch GmbH.

Tem um total de 292 fábricas localizadas em 34 diferentes países.

Emprega 238.500 pessoas em todo o Mundo.

Aposta fortemente em Investigação e Desenvolvimento, tendo gasto um total de 30 biliões de euros nos últimos 10 anos. Regista, em média, 15 patentes por dia de trabalho.



### 3.2. Grupo Bens de Consumo

No texto que se segue, apenas o Grupo, a Divisão e a Unidade de Negócio a que a fábrica de Aveiro pertence são descritos com algum detalhe e estão assinalados nos organigramas a azul. Todos os outros Grupos, Divisões e Unidades de Negócio são apenas referidos.

O Grupo Bens de Consumo, agrupa as seguintes divisões: Power Tools (PT), Security Systems (ST) e Thermotechnology (TT).

No total, este Grupo tem oitenta e cinco fábricas.

#### 3.2.1. A Divisão Thermotechnology (TT)

A divisão Thermotechnology (TT) está organizada em seis Unidades de Negócio, de acordo com a figura 3.2.

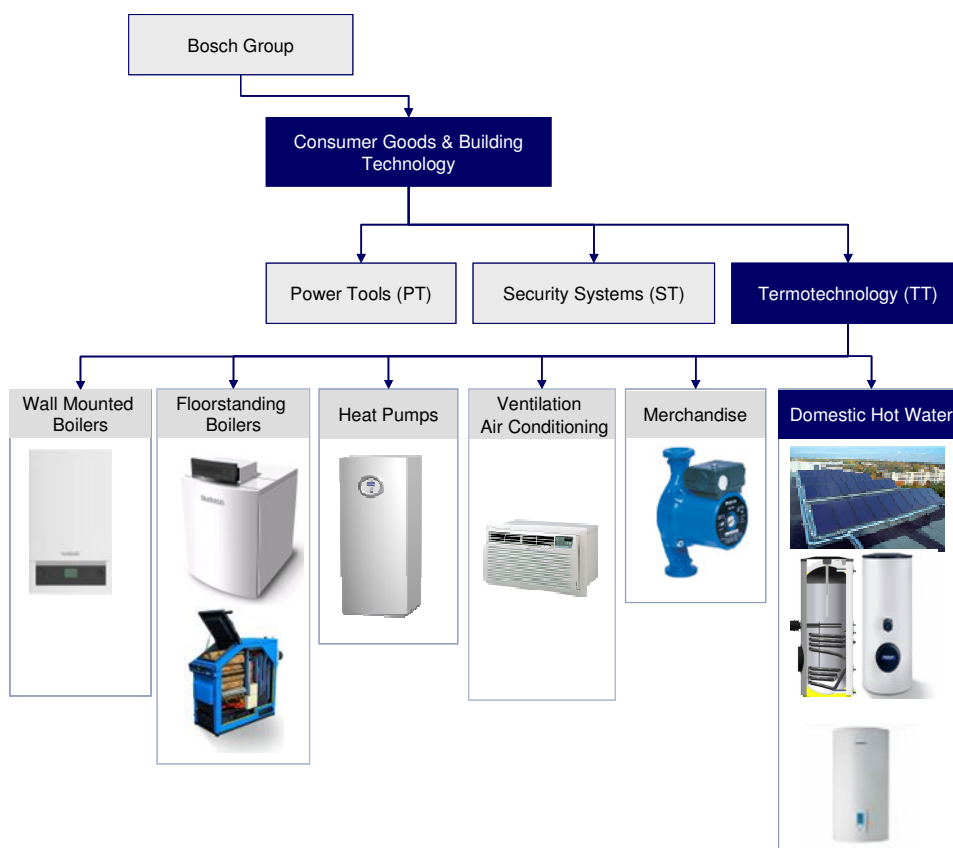


Figura 3.2 – Grupo Consumer Goods and Building Technology

As Unidades de Negócios têm responsabilidade global pelos seus produtos e respectivas fábricas. Para cada uma delas são definidas metas em termos de lucro, receitas de vendas e investimentos.

A divisão Thermotechnology (TT), tem um valor de vendas total de cerca de três bilhões de euros e está entre os principais fornecedores mundiais de soluções eficientes para água quente e ambiente interior confortável.

### 3.2.2. Unidade de Negócio Domestic Water Heater (DW)

A Unidade de Negócio Domestic Water Heater (DW) está sediada em Aveiro e é o centro de competência para os aparelhos de água quente de uso doméstico. Estes aparelhos são igualmente produzidos na fábrica de Aveiro bem como os painéis solares, embora o centro de competência destes esteja em Wettringen, Alemanha.

A visão da Unidade de Negócios, Domestic Water (DW) está alinhada com a visão geral da TT, com um claro foco em soluções de água quente que sejam energeticamente eficientes e compatíveis com o ambiente.

A estratégia, para todas as fábricas da Divisão, passa pelo desenvolvimento e a expansão do BPS (Sistema de Produção Bosch) como metodologia para simplificar processos e eliminar todas as etapas de valor não acrescentado.

### 3.3. Departamento de Logística (LOG)

O departamento de Logística, na fábrica de Aveiro, está dividido em 4 grandes áreas: Serviço ao Cliente, Planeamento de Produção e Aprovisionamento, Logística interna, e Recepção e Expedição de materiais, de acordo com a figura 3.3.

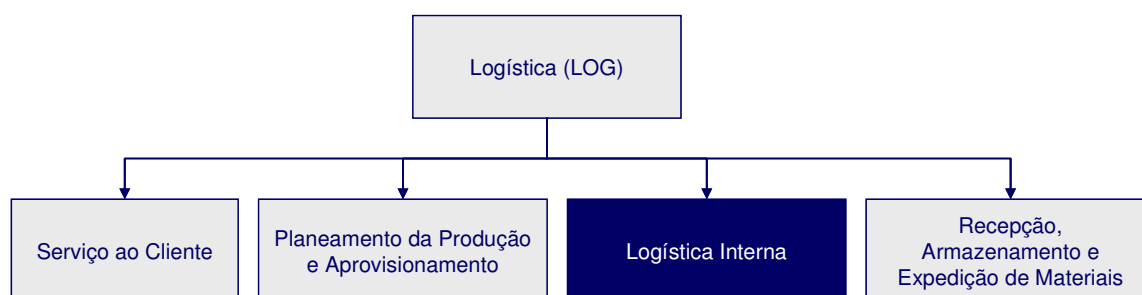


Figura 3.3 – Áreas sob a gestão do departamento de Logística (LOG)

É o departamento responsável pela gestão e planeamento de todo o fluxo de material, desde o fornecedor até à entrega ao cliente final, incluindo a recepção, o armazenamento e movimentação dentro da fábrica. Gere ainda o fluxo de informação entre estes processos e outros interligados.

### **3.4. Logística Interna**

Desde 2003, o BPS (Bosch Production System), a metodologia Lean da BOSCH, tem vindo a ser implementado na fábrica de Aveiro.

Um dos primeiros passos dados foi a eliminação de desperdícios das áreas de produção, nomeadamente:

- Desperdícios de manuseamento: abrir caixas de cartão, retirar peças para caixas mais pequenas;
- Desperdícios de deslocamento: auto-abastecimento do posto de trabalho e deslocamento aos contentores de cartão;
- Desperdícios de procura: onde estão as peças? Falta de ergonomia e organização no posto de trabalho;
- Desperdícios de movimentação: troca de paletes nas mudanças de modelos.

Todas estas operações, as que não estão directamente associadas à montagem da peça em si, foram passadas para a Logística Interna.

Desde então, os principais objectivos da Logística Interna são:

- Eliminar, o mais possível, o manuseamento de caixas com a implementação de, por exemplo, embalagens retornáveis com os fornecedores e entregas directas no ponto de consumo;
- Minimizar as distâncias percorridas definindo percursos fixos, designados internamente por rotas de abastecimento;
- Definir e controlar os tempos de cada rota;
- Simplificar os fluxos de informação, adoptando cada vez mais sistemas que permitam gerir o processo visualmente;
- Definir cenários logísticos: várias combinações de tarefas de forma a maximizar o indicador Eficiência.

Para dar resposta a estes objectivos, foi necessário pensar num novo conceito logístico para o abastecimento interno, um conceito que fosse capaz de responder à necessidade de entregar caixas cada vez mais pequenas, logo com menos quantidade, mas com uma frequência mais elevada.

Foram criados os Milk Run, os POUP (Point of Use Providers) e os comboios logísticos.

Os Milk Runs são os operadores responsáveis pela condução do comboio logístico. Efectuam percursos fixos, designados internamente por “Rotas”, com tempos definidos. Entregam todos os materiais de compra, localizados no armazém, aos supermercados dos clientes internos

Os POUP (Point of Use Provide), são operadores responsáveis pela movimentação dos materiais desde os supermercados, próximos do ponto de uso, até ao ponto de uso, os chamados Bordo de Linha.

Um comboio logístico, são carrinhos logísticos atrelados entre si, com prateleiras divididas e identificadas por cliente interno, ver figura 3.4.



Figura 3.4 – Comboio Logístico

### 3.5. Rotas Logísticas de Abastecimento

Actualmente, existem na fábrica dois tipos de rotas logísticas para abastecimento dos materiais às secções de produção: as rotas de abastecimento directo ao ponto de uso e as rotas de abastecimento aos supermercados próximos do ponto de uso, figura 3.5 e 3.6 respectivamente.

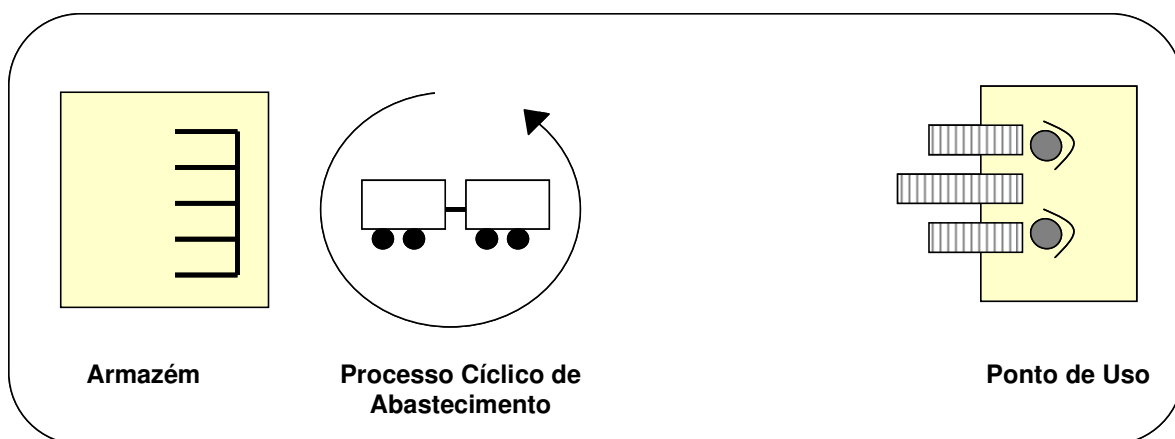


Figura 3.5 – Rotas de abastecimento directo ao ponto de uso

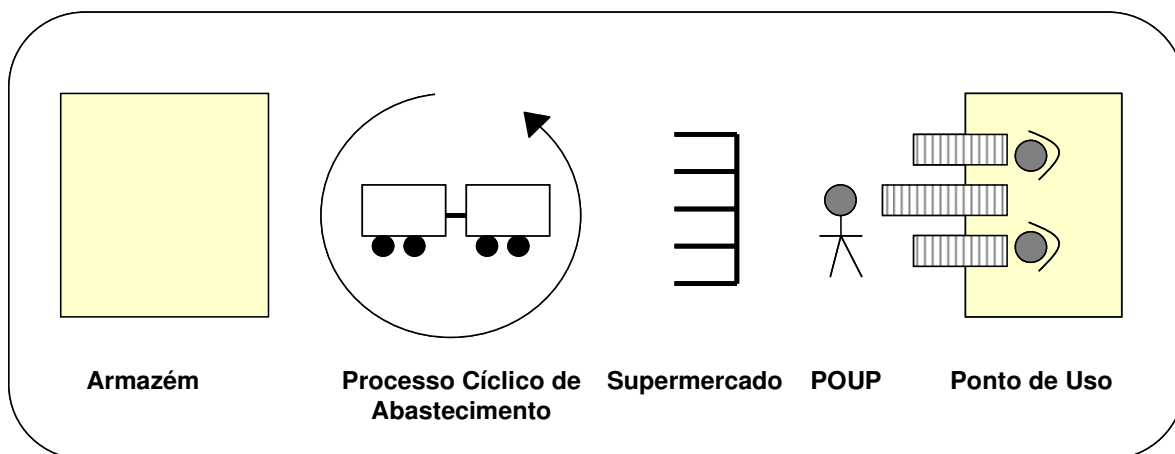


Figura 3.6 – Rotas de abastecimento aos supermercados próximos do ponto de uso

### **3.5.1. Directo ao ponto de uso**

Neste tipo de rota, o Milk Run é responsável por todo o fluxo de materiais e informação.

Actualmente, este tipo de rotas está funcionamento apenas nas linhas de montagem final de Esquentadores e Caldeiras

Todas as caixas movimentadas têm quantidade igual a dezasseis unidades, ou quantidade múltiplo deste, ou seja, a quantidade movimentada e entregue corresponde à unidade de planeamento: dezasseis unidades.

Este alinhamento entre quantidade entregue e quantidade planeada permite rápidas mudanças de modelo na linha de montagem final, já que o tempo necessário para trocar peças é agora igual a zero.

A preparação de todas peças de compra, na caixa e quantidade certa, é feita no armazém numa célula de reembalagem.

O desperdício é todo concentrado nesta área: contagem de dezasseis em dezasseis, reembalagem na caixa usada no Bordo de Linha, retirar plásticos, cartão e elásticos que vêm nas embalagens dos fornecedores com os quais o conceito de caixas retornáveis ainda não está implementado.

As peças preparadas são disponibilizadas num supermercado. O Milk Run, de acordo com o material pedido na sua folha de trabalho, retira as caixas do supermercado e deixa um sinal para reposição, o cartão Kanban que existe em cada caixa.

Estes materiais são depois entregues no Bordo de Linha, exactamente no local onde o operador da produção os monta.

Terminada a rota, o Milk Run retira uma nova folha de trabalho e inicia uma nova rota, continuamente.

Esta é a estratégia logística a implementar em toda a fábrica até ao final de 2015.

Exemplos deste tipo de rotas são: “Rota Linha de montagem final 1”, “Rota Linha de montagem final 2”, Rota Linha de montagem final 3”..

### **3.5.2. Aos supermercados próximos do ponto de uso**

As rotas de abastecimento aos supermercados próximos do ponto de uso, figura 3.6, são as rotas praticadas no abastecimento de todas as pré-montagens da fábrica.

As principais diferenças entre este conceito e o anterior são duas:

1. Os Milk Runs entregam a embalagem vinda do fornecedor no supermercado do cliente interno e a reembalagem, na quantidade e caixa usada no Bordo de Linha do cliente, é feita pelo POUP.
2. É o POUP que faz, informaticamente, os pedidos de reposição ao supermercado

O processo inicia-se com o pedido, ou pedidos, de reposição de peças por parte dos POUP de qualquer uma das pré-montagens.

O procedimento é comum a todos eles: o POUP após retirar uma caixa do supermercado deve fazer um pedido electrónico para repor o consumo. Este pedido electrónico é feito através da leitura de um código de barras e dá origem a uma etiqueta de picking no armazém de componentes.

Esta etiqueta indica a quantidade pedida, o tipo de caixa, o cliente a que se destina, a estante e o local de saída, a estante e o local de entrada e o tempo limite para a entrega.

De quinze em quinze minutos, o sistema informático processa os pedidos electrónicos de toda a fábrica. Neste momento, um dos operadores do armazém separa e agrupa as etiquetas de picking de acordo com o corredor indicado na etiqueta e coloca-as nos respectivos sequenciadores. Estes sequenciadores definem a sequência de trabalho dos vários operadores de picking do armazém, que após retirarem das estantes todos os pedidos relativos à sua ordem de trabalho, os colocam num tapete de separação. Neste tapete de separação trabalha um outro operador do armazém que é responsável pela separação física do material, ou seja, separa as caixas de acordo com o cliente interno a que se destina e coloca-as no respectivo comboio logístico, prateleira e carruagem.

Independentemente da quantidade da caixa ou do consumo do cliente, neste processo todos os pedidos têm um lead time máximo de duas horas, ou seja, duas horas é o tempo máximo que o armazém pode demorar desde o momento que recebe o pedido – etiqueta de picking – até que o disponibiliza no comboio logístico.

Neste ponto do processo termina a responsabilidade do armazém de componentes, e inicia-se o processo seguinte: O processo de entrega dos materiais, sob a responsabilidade da logística interna. Ver figura 3.7.

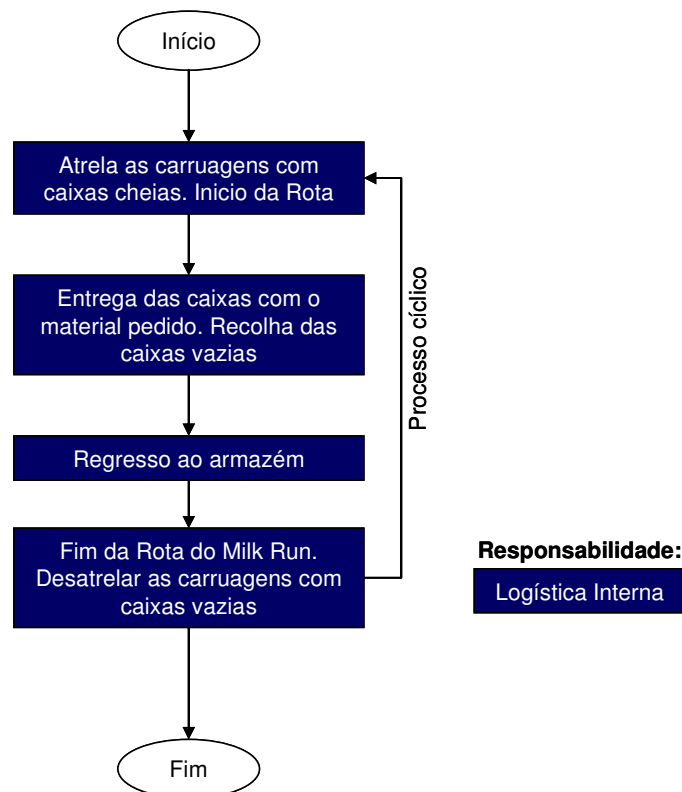


Figura 3.7 – Sequência de trabalho do Milk Run

O operador Milk Run, de acordo com a rota a que estiver alocado, atrela as várias carruagens entre si, ou seja, forma o comboio, atrela-o ao equipamento de tracção e inicia a sequência de trabalho definida. Em cada ponto de paragem definido, o Milk Run entrega as caixas cheias no local indicado na etiqueta e recolhe as vazias da rampa de retorno.

Após a entrega de todos os pedidos, isto é, de todas as caixas, regressa ao armazém. Desatrela carruagem a carruagem, coloca-as no carril vazio e inicia uma nova rota.

As seguintes rotas enquadram-se neste conceito: “Rota Secções”, “Rota Kanbans”, “Rota Solar”.

#### 3.5.2.1. “Rota Secções”

A “Rota Secções” movimenta materiais de compra, entre o armazém e os supermercados das pré-montagens, na quantidade pedida pelos POUP sendo o processo cíclico e o tempo de rota esperado de 30 minutos.



### 3.5.2.2. “Rota Kanban”

No caso da “Rota Kanban”, tal como o nome indica, o Milk Run movimenta Kanbans, mas Kanbans de materiais semi-acabados (WIP), ou seja, recolhe numas pré-montagens para entregar noutras, de acordo com os cartões Kanban recolhidos na rota anterior.

Este Milk Run movimenta material e informação, mas como movimenta os materiais entre supermercados e não directamente ao ponto de uso, enquadra-se no tipo de rotas de abastecimento aos supermercados próximos do ponto de uso.

Desloca-se ao armazém para entregar caixas vazias sendo esta operação necessária para que o armazém verifique se as caixas estão limpas e se sim, reintroduzi-las no circuito. Senão, são triadas para a lavagem.

O processo é cíclico e o tempo de rota esperado é de 30 minutos.

### 3.5.2.3. “Rota Solar”

A área fabril de produção dos Painéis Solar está fisicamente separada da restante e principal nave fabril.

A reposição de materiais desta área, designada por “Rota Solar”, exige uma rota de abastecimento exclusiva, devido a esta rota ter de ser feita com um equipamento de tracção dedicado, já que os equipamentos usados no interior da fábrica não podem circular no exterior e vice-versa.

A “Rota Solar” movimenta materiais de compra, na quantidade pedida pelos POUP, entre o armazém e supermercado junto à linha de montagem final do Paine Solar.

A frequência de execução desta rota era incerta, e o tempo para a realizar variava entre 13 a 15 minutos, distribuídos de acordo com os dados da tabela 3.1.

Tempo de ciclo	Operações	Tempo (min)
Sub-Tempo de ciclo 1	Troca de equipamento de tracção (na ida e no regresso)	6
Sub-Tempo de ciclo 2	Deslocamento total	6
Sub-Tempo de ciclo 3	Entrega de pedidos e recolha de caixas vazias	[1;3]

Tabela 3.1 – Sub-Tempos de ciclo da Rota Solar

### 3.6. Mapa de rotas

Todas as rotas existentes na fábrica, quer sejam do tipo abastecimento directo ao ponto de uso ou abastecimento ao supermercado, têm definido um percurso fixo, pontos de paragem identificados no chão e um tempo de rota esperado. De acordo com as Normas do BPS (Sistema de Produção Bosch) este tempo deve ser igual ou inferior a trinta minutos.

A figura 3.8 ilustra, como exemplo, o mapa dos percursos e dos pontos de paragem das rotas em destaque neste trabalho: a “Rota Secções”, a “Rota Kanbans” e a “Rota Solar”.

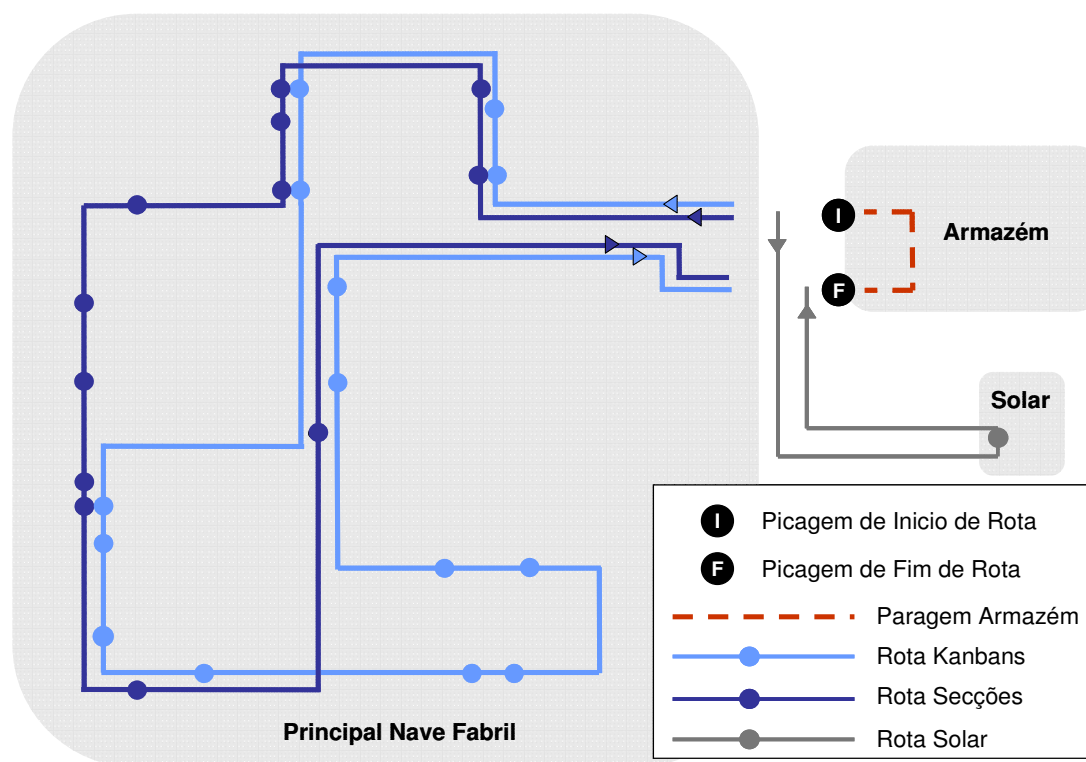


Figura 3.8 – Mapa de Rotas

Todas estas rotas são rotas dedicadas a processos, o que significa tratar cada uma delas isoladamente, ou seja, o ajuste de recursos, nomeadamente pessoas, é feito individualmente, isto é, se uma rota necessitar de 0,8 pessoas e outra necessitar de 1,1 pessoas, o número de pessoas alocadas a estas duas rotas são 3. Não há partilha de tarefas e como tal não há optimização de recursos nem maximização do indicador Eficiência. Este problema vai ser analisado no capítulo que se segue, através da metodologia DMAIC.

## CAPÍTULO IV – CASO DE ESTUDO

### 4.1. Introdução

Em 2010, a exemplo do que já acontecia na área de Produção, o indicador Eficiência<sup>2</sup> passou a ser calculado para todas as outras áreas de suporte à produção, nomeadamente a Logística Interna.

O cálculo da Eficiência na Logística Interna, é feito de acordo a figura 4.1.

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Tempo de produção total}}{\text{Horas trabalhadas no centro de custo: logística Interna}}$$

Figura 4.1 – Fórmula de Cálculo da Eficiência

Para aumentar este indicador na Logística Interna, é fundamental deixar de ter rotas dedicadas a processos para passar a ter “Cenários Logísticos de Rotas de Abastecimento”, ou seja rotas mais “globais”, isto é, rotas em que o operador Milk Run efectua diferentes combinações de tarefas, dentro do percurso definido e tempo de ciclo estimado, de acordo com a cadência de produção dos seus clientes, a exemplo do que já acontece nas linhas de produção, onde número de operadores é ajustado de acordo com o output pretendido.

Por exemplo, na linha de montagem final, para um output de 240 unidades trabalham 4 operadores e para um output de 480 unidades trabalham 8 operadores. Ainda que o output por operador seja o mesmo em ambos os cenários, 60 unidades, as tarefas que cada um realiza num cenário e no outro são claramente diferentes.

Para cada Cenário de Produção, isto é, output versus número de operadores, existem diferentes balanceamentos, que não são mais do que diferentes combinações de tarefas por operador.

É isto que se pretende atingir na Logística Interna com a definição de “Cenários Logísticos de Rotas de Abastecimento”.

Para que isto seja possível, é necessário conhecer os tempos exactos por tarefa.

---

<sup>2</sup> Na Logística Interna, o indicador Eficiência é um valor indexado a 2009. Mede a evolução ou ineficiência dos recursos usados.

Os tempos exactos vão permitir calcular com mais precisão o número de horas a trabalhar versus o número de Milk Runs necessários e consequentemente aumentar a Eficiência.

Internamente, a “Rota Secções”, “Rota Kanban” e “Rota Solar” foram as rotas identificadas com elevado potencial para ganhos de Eficiência

Para cada uma destas rotas foram recolhidos dados relativos ao “Tempo de Rota”, entre de Janeiro e Março de 2011. Os resultados encontram-se nas figuras 4.2, 4.3 e 4.4 e nas tabelas 4.1 e 4.2

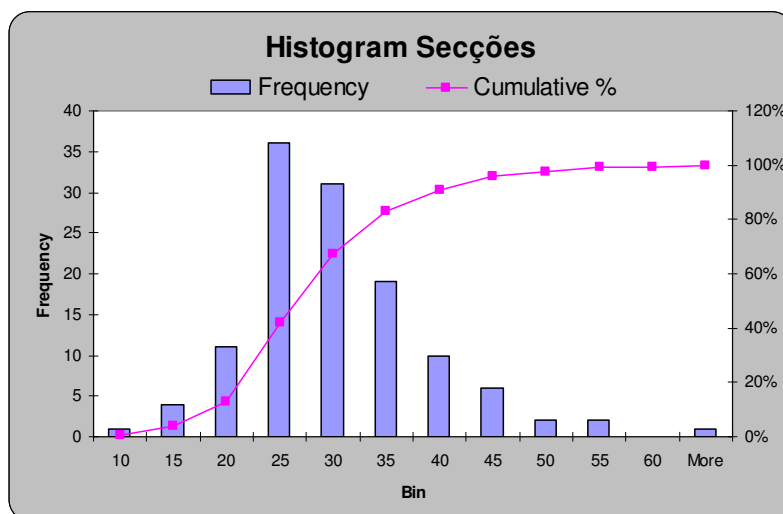


Figura 4.2 – Histograma “Rota Secções”

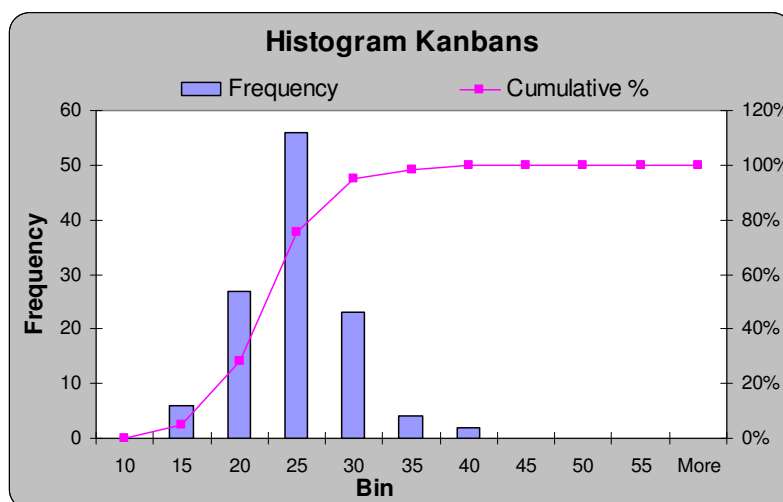


Figura 4.3 – Histograma “Rota Kanbans”

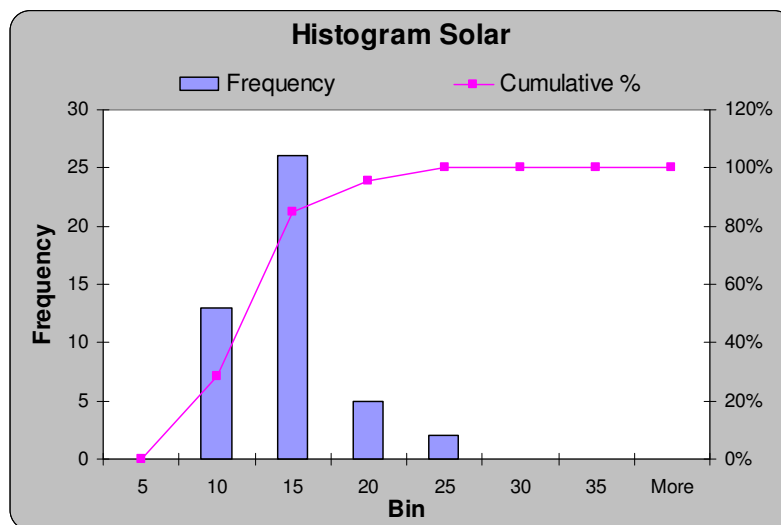


Figura 4.4 – Histograma “Rota Solar”

	<i>Rota Secções</i>	<i>Rota Kanbans</i>	<i>Rota Solar</i>
Mean	28.293	23.102	12.565
Median	27	24	12
Mode	21	25	13
Standard Deviation	8.813	4.789	3.692
Range	53	26	19
Minimum	10	12	6
Maximum	63	38	25
Count	123	118	46

Tabela 4.1 – Resultados Estatísticos das amostras recolhidas das 3 Rotas

	<i>Rota Secções</i>	<i>Rota Kanbans</i>	<i>Rota Solar</i>
<i>Coefficiente de Variação</i>	31%	21%	29%

Tabela 4.2 – Cálculo do Coeficiente de Variação

Para as amostras recolhidas, a “Rota Secções” é a que apresenta um maior Coeficiente de Variação (CV)<sup>3</sup>, logo maior variabilidade no tempo para efectuar uma rota.

<sup>3</sup> O coeficiente de variação é o resultado de dividir o desvio padrão pela sua média. Esta medida relativa permite a comparação de distribuições. A que tiver menor coeficiente de variação tem menor dispersão ou variabilidade.

Ao se interpretar estes valores verifica-se que, na primeira distribuição, em média, os desvios relativamente à média atingem 31% do valor desta. Na segunda e terceira distribuição, os desvios relativamente à média atingem, em média, 21% e 29% do valor desta, respectivamente.

Esta variabilidade dificulta, ou impossibilita mesmo, a combinação com outras tarefas.

Por esta razão, esta rota foi identificada como prioritária para análise e será o processo alvo em estudo. Sendo um dos objectivos do Seis Sigma a eliminação da variabilidade e dos defeitos nos processos, recorreu-se ao uso da metodologia DMAIC para resolver o problema.

## **4.2. DMAIC – Fase Definir**

Nesta fase é elaborada a Carta do Projecto, sendo esta uma das ferramentas mais utilizadas na fase Definir.

Este documento formaliza o arranque do projecto e facilita o alinhamento entre os membros da equipa. Engloba os seguintes pontos:

### **4.2.1. Identificação do projecto, processo alvo, equipa e duração**

O projecto que se segue foi desenvolvido na área da Logística Interna, mais especificamente na “Rota Secções”. Este processo é responsável pelo abastecimento de peças de compra, desde a saída do armazém até aos supermercados das pré-montagens.

A equipa foi constituída por um *Champion*, o director do departamento de Logística, por um Master Black Belt, o coordenador desta área, por Green Belts, maioritariamente colaboradores da Logística Interna e colaboradores do Armazém, e teve o apoio de um Black Belt, o coordenador de grupo da área da Qualidade.

O projecto decorreu de Janeiro a Maio de 2011.

### **4.2.2. Business Case**

Para além da necessidade, já referida, de aumentar o indicador Eficiência na Logística Interna, este projecto foi considerado de elevada importância, devido ao seu impacto na auditoria BPS. Anualmente, todas as fábricas do grupo BOSCH são alvo de uma auditoria BPS. Esta auditoria tem como objectivo

medir o nível de implementação desta metodologia nas diversas fábricas e definir oportunidades de melhoria, sendo 800 pontos o valor máximo possível de atingir.

O resultado final da auditoria serve para comparar fábricas, principalmente fábricas dentro do mesmo grupo e divulgar as “melhores práticas” encontradas.

A Logística Interna, em especial o processo das rotas dos Milk Runs têm um peso relevante no resultado final da auditoria, devido ao elevado número de questões na auditoria relacionadas com o assunto, nomeadamente, tempos de rotas, normalização dos percursos, sistema para controlo rápido de desvios.

Já desde 2008 que a fábrica de Aveiro obtêm o melhor resultado dentro do grupo Thermotechnology (TT). É de vital importância manter o 1º lugar da tabela.

É igualmente importante apresentar soluções que sejam consideradas como “Melhor Prática”. Esta distinção é uma vantagem competitiva, especialmente em situações de decisão de alocação de novos produtos ou mesmo maximização da capacidade produtiva dos produtos já existentes.

*“One of the main tasks is to continuously improve the processes, workflows and quality in production operations. The goal is to achieve excellence in production. TT is doing a great deal of work in this direction at present”. (Uwe Glock, President of Thermotechnology)*

#### **4.2.3. Âmbito do Projecto**

O âmbito deste projecto está limitado ao processo de transporte e entrega dos pedidos de reposição de peças, desde a saída do armazém até à chegada aos supermercados das pré-montagens, designado por “Rota Secções”.

#### **4.2.4. Definição do Problema**

*- De Janeiro a Março 2011, aproximadamente 30% das rotas apresentaram um tempo superior ao definido como máximo, 30 minutos. Este atraso no tempo de entrega afecta negativamente a confiança no sistema e aumenta a quantidade necessária de stock de segurança nos supermercados dos clientes internos –*

Podemos definir como defeito todas as rotas com tempo acima dos 30 minutos, sendo este considerado um desvio grave porque:

- O supermercado das pré-montagens pode entrar em ruptura;
- Consequentemente, o semi-acabado pode não ser produzido a tempo de ser entregue à linha final;
- A linha final não pode produzir e avança para a produção do modelo seguinte;
- O camião segue sem o pedido do cliente;
- O cliente fica insatisfeito ou compra uma marca da concorrência.

Para evitarem as paragens de produção, devido a entregas tardias, é frequente ver os responsáveis de equipa a deslocarem-se ao armazém para ir buscar o que está em falta ou os POUP a fazerem pedidos informáticos a “dobrar” como forma de criarem ainda mais stock de segurança do que aquele que foi dimensionado no supermercado.

Estas duas “medidas” impedem que o sistema seja testado a fundo e como tal não existem dados de paragens fidedignos possíveis de relacionar com atrasos de entregas. Os dados que existem são de factos as paragens que não foram possíveis de evitar, ou seja, uma ínfima parte.

Outra dificuldade, a principal no âmbito do trabalho a desenvolver, advém de 30% das rotas apresentarem tempos de execução superiores a 30 minutos e por isso não ser possível definir 30 minutos como tempo padrão para realizar esta rota. Esta dificuldade, impede a combinação de tarefas desta rota com outras rotas e tarefas, ou seja, não é possível definir balanceamentos e otimizar recursos.

#### **4.2.5. Objectivo e Ganhos Financeiros**

Os objectivos inicialmente definidos para este projecto foram posteriormente redefinidos ao nível do turno.

Assim, para o turno da manhã (T1), que apresentava piores resultados que o turno da tarde (T2), foram definidos os seguintes objectivos:

- Redução do número de defeitos por milhão (DPMO): rotas com tempo > 30 minutos;
- Consequente, aumento do Nível Sigma do processo;



- Redução da variabilidade nos tempos das rotas;
- Redução do tempo médio por rota;
- Eliminação do tempo de paragem no armazém (atrear, desatrear carruagens...).

A tabela 4.3 mostra, para cada uma das métricas, a situação inicial e os objectivo a atingir.

Objectivos para Turno da Manhã (T1)		Janeiro	Fevereiro	Março	Objectivo
Redução do DPMO	%	345238	551020	516779	10.000
Aumento do Nível Sigma		0.4	0	0	2.3
Redução do Coeficiente de Variação (Tempo de Rota)	%	44	36	32	11.5
Redução do tempo médio / rota	min	27	34	31	25
Eliminação do tempo de paragem no armazém	min	12	12	12	0

Tabela 4.3 – Definição dos Objectivos do Projecto

#### 4.2.6. Milestones, Risco e Potenciais Barreiras

As Milestones assinaladas na carta do projecto foram:

- a) A implementação da aplicação informática, como suporte à recolha de dados de picagens de partida e picagens de chegada, para permitir uma medição mais exacta do processo;
- b) Alteração do layout do armazém.

A principal barreira identificada foi o tempo necessário para a alteração do layout do armazém, resultante de outro projecto, e o risco de após as alterações não sobrar espaço para implementar as melhorias na “Rota da Secções”.

#### 4.2.7. Plano de Comunicação

A equipa reuniu-se semanalmente, incluindo os operadores Milk Runs, para analisar os resultados atingidos, discutir melhorias a implementar e definir acções e prazos.

Mensalmente, os resultados foram apresentados na reunião de departamento, bem como as acções ainda em aberto.

#### 4.2.8. Lista dos requisitos mensuráveis do cliente

A definição dos objectivos deste projecto teve em consideração as expectativas dos clientes servidos pela “Rota Secções”, as pré-montagens da fábrica. Foi realizado um workshop com todos os Responsáveis de Produção e POUPs destas áreas do qual resultou a tabela 4.4.

	“Voz do Cliente”
<b>Must have</b>	0% de paragens de produção devido a ruptura de peças nos supermercados
<b>More is better</b>	50% de redução do stock de segurança no supermercado
<b>Delighter</b>	0% de área ocupada, dentro da fábrica, com supermercados de peças de compra. Entrega directa das peças ao ponto de uso.

Tabela 4.4 – Requisitos do cliente – “Voz do Cliente”

O requisito que o cliente considerou como obrigatório foi a reposição das peças dentro do tempo definido, sem atrasos.

Se isto fosse cumprido, o stock de segurança no supermercado podia ser diminuído, e consequentemente diminuir a área ocupada com supermercados.

O cliente considerou como requisito ideal a transferência de todos os supermercados para o armazém e receber, em cada rota, apenas as peças necessárias para o modelo a produzir, na quantidade e caixa certa, a exemplo do que já acontece nas Linhas de Montagem Final.

#### 4.3. DMAIC – Fase Medir

Nesta fase, o objectivo é medir o desempenho actual do processo de forma a definir o “ponto de partida”.

O processo actual foi medido e os resultados de partida foram comparados com os objectivos a atingir, de forma a calcular o delta em cada um deles.

Inicialmente, foi definido um formulário para a recolha manual de dados. O Milk Run, em cada rota, registava a hora de partida e a hora de chegada. O cálculo do tempo de rota era feito posteriormente numa folha de Excel. A morosidade no tratamento dos dados e a dificuldade em obter uma análise diária, obrigaram a equipa a pensar numa solução mais robusta.

#### 4.3.1. Recolha de dados: Picagem do cartão magnético

Com a colaboração dos departamentos Informática e Recursos Humanos, foi implementado um sistema de recolha de picagens com cartão magnético, em relógios de ponto fixos, a exemplo do que se faz com o controlo de assiduidade dos colaboradores.

A cada rota foi associado um cartão magnético, conforme exemplo dado na figura 4.5

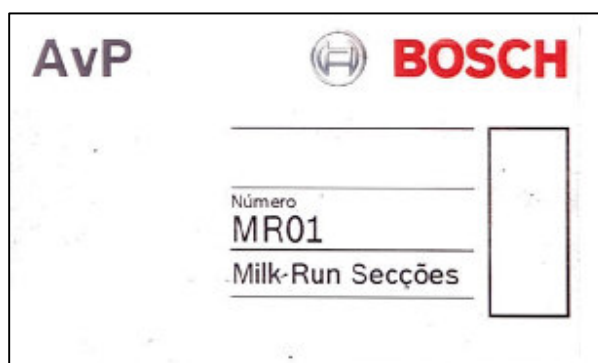


Figura 4.5 – Cartão magnético da “Rota Secções”

Para o operador Milk Run o procedimento é simples: em cada rota, efectua uma picagem à partida e outra picagem à chegada.

A picagem de partida, Início de Rota, é efectuada no relógio de ponto localizado no portão 1 do armazém, ou seja o portão de saída. A picagem de chegada, Fim de Rota, é efectuada no relógio de ponto localizado no portão 2 do armazém, ou seja o portão de entrada, de acordo com a figura 4.6.

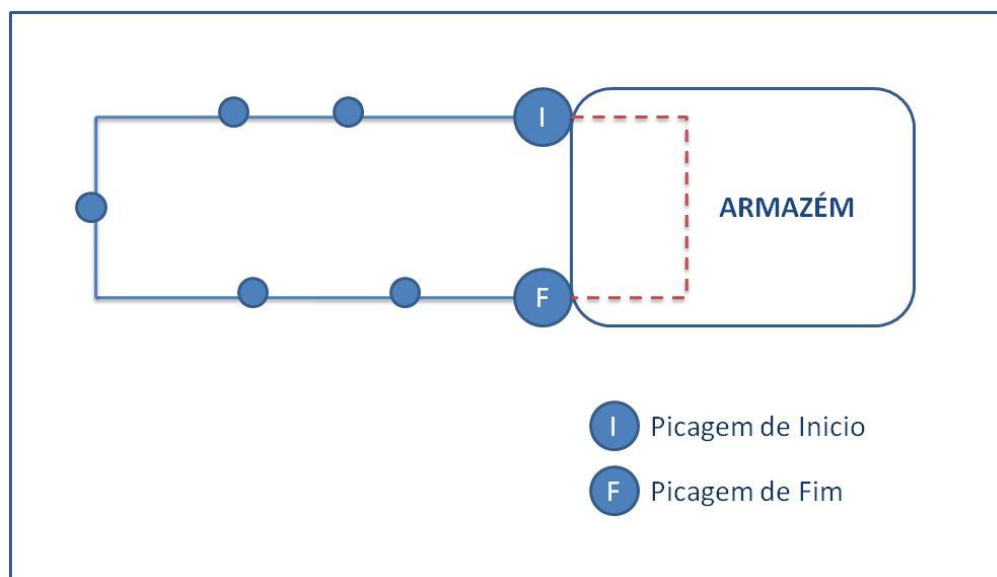


Figura 4.6 – Esquema da Rota, Paragem no Armazém e Pontos de Picagem

Os dados das picagens são armazenados numa base de dados, processados e a qualquer momento do dia, para qualquer rota, é possível obter do sistema um relatório relativo a cada rota, ver tabela 4.5

Relatório de Rotas por Milkrun									
MR01 - Milkrun Secções									
Data	Partida planeada	Desvio		Partida real		Chegada	Tempo rota	Desvio tempo rota	Observações
14-02-2011	6:55	-	0:19	6:36	*	7:29	0:53	+ 0:23	
14-02-2011	8:15	-	0:34	7:41	*	8:21	0:40	+ 0:10	
14-02-2011	8:55	-	0:05	8:49		9:28	0:39	+ 0:09	
14-02-2011	9:50	+	0:19	10:09		10:46	0:37	+ 0:07	
14-02-2011	10:30	+	0:29	10:59		11:27	0:28	- 0:02	
14-02-2011	11:50	+	0:14	12:04		12:41	0:37	+ 0:07	
14-02-2011	13:10	-	0:02	13:08		13:38	0:30	0:00	
14-02-2011	13:45	+	0:11	13:56		14:21	0:25	- 0:05	
14-02-2011	14:25	+	0:05	14:30		14:55	0:24	- 0:06	
14-02-2011	15:05	+	0:21	15:26		15:44	0:18	- 0:12	
14-02-2011	15:45	+	0:27	16:12		16:41	0:28	- 0:02	
14-02-2011	16:25	+	0:22	16:47		17:13	0:25	- 0:05	
14-02-2011	17:05	+	0:15	17:20		17:51	0:16	- 0:14	
14-02-2011	18:00		0:00	17:59		18:20	0:21	- 0:09	
14-02-2011	18:40	-	0:08	18:31		18:58	0:27	- 0:03	
14-02-2011	19:20	-	0:12	19:07		19:21	0:14	- 0:16	
14-02-2011	20:00	-	0:30	19:29		19:46	0:16	- 0:14	
14-02-2011	20:40	-	0:29	20:10		20:28	0:18	- 0:12	

Tabela 4.5 – Exemplo ilustrativo de um relatório diário da Rota do Milk Run Secções

Para cada uma das rotas, a diferença entre o tempo de “Partida real” e o tempo de “Chegada” permite-nos saber o “Tempo Rota”, ou seja o tempo que o comboio logístico demorou a fazer o percurso definido e a entregar os pedidos dos vários clientes.

Outro indicador que podemos obter desta tabela, ainda que não directamente, é o tempo de paragem no armazém, que resulta da diferença entre a chegada de uma rota e a partida da rota seguinte. Exemplo: Chegada às 7:29, Partida às 7:41, tempo de paragem no armazém igual a 12 minutos

Idealmente, sendo a rota um processo cíclico, o ponto de partida deveria ser o mesmo que o ponto de chegada, mas neste estudo os pontos de picagem estão separados cerca de 10 metros.

Medir o tempo de paragem no armazém foi a razão para os pontos de picagem terem sido colocados em pontos separados. Ainda que este tempo deva ser adicionado ao "Tempo Rota" para se obter o verdadeiro Tempo Total da Rota, decidiu-se calcular este tempo em separado e não o considerar por se tratar de uma operação sem qualquer valor acrescentado cujo objectivo é eliminar.

O Tempo de Ciclo Total da “Rota Secções”, pode assim dividir-se em dois sub-tempos de ciclo, conforme explicado na tabela 4.6

<b>Tempo de ciclo total da "Rota Secções"</b>	<b>Definição</b>
Sub - Tempo de Ciclo I: Tempo de Rota	Tempo de Transporte e Entrega. Tempo que o Milk Run demora desde que sai do armazém, entrega os pedidos nos supermercados dos clientes, recolhe as caixas vazias e regressa à entrada no armazém.
Sub - Tempo de Ciclo II: Tempo de "Paragem no Armazém"	Tempo que o Milk Run está parado no armazém a efectuar operações de valor não acrescentado: atrelar carruagens, desatrelar carruagens, colocar e retirar as carruagens dos carris, outros desperdícios

Tabela 4.6 – Tempo de Ciclo Total e Sub-Tempos de Ciclo da “Rota Secções”

Este estudo foca-se apenas na análise do Sub-Tempo de Ciclo I: Tempo de Rota

#### 4.3.2. Situação Inicial: Resultados da Medição por Mês

De Janeiro a Março de 2011 foram realizadas 1268 "Rotas Secção", das quais 1107 fazem parte da amostra em estudo. As restantes 161 rotas foram anuladas <sup>4</sup>.

Os resultados estatísticos destes 3 meses encontram-se na tabela 4.7.

Janeiro 2011		Fevereiro 2011		Março 2011	
Mean	26.02	Mean	27.38	Mean	26.59
Median	25	Median	25	Median	24.5
Mode	21	Mode	23	Mode	24
Standard Deviation	8.96	Standard Deviation	10.80	Standard Deviation	8.74
Range	63	Range	77	Range	52
Minimum	10	Minimum	10	Minimum	11
Maximum	73	Maximum	87	Maximum	63
Count	388	Count	355	Count	364

Tabela 4.7 – Resultados Estatísticos da “Rota Secções” de Janeiro a Março 2011

De uma primeira observação, podemos referir que nos três meses em análise, os dados das amostras apresentam bastante semelhança entre si, quer seja no número de rotas realizadas (388, 355 e 364 respectivamente), na média do tempo de rota (26, 27 e 27 minutos), na mediana (25, 25, 25), e no desvio padrão (9,11,9). Ver histogramas relativos aos dados das amostras nas figuras 4.7, 4.8 e 4.9.

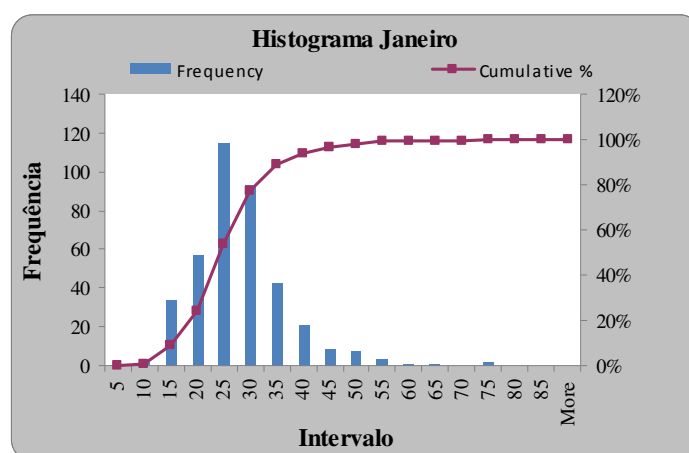


Figura 4.7 – Histograma da “Rota Secções” do mês de Janeiro 2011

<sup>4</sup> Motivo para anulação de uma rota: falta de picagem na partida ou na chegada

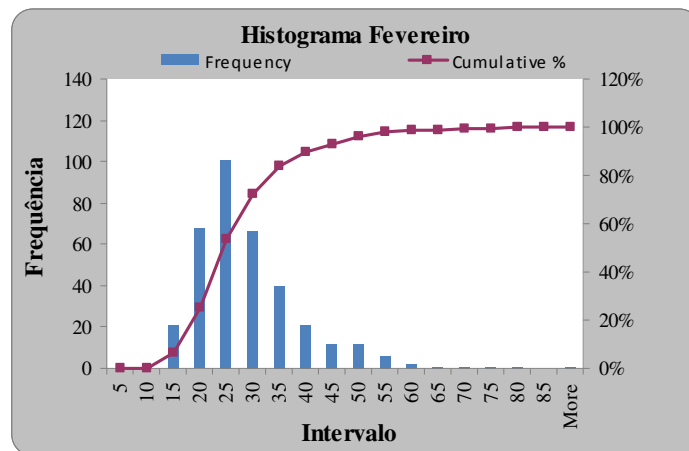


Figura 4.8 – Histograma da “Rota Secções” do mês de Fevereiro 2011

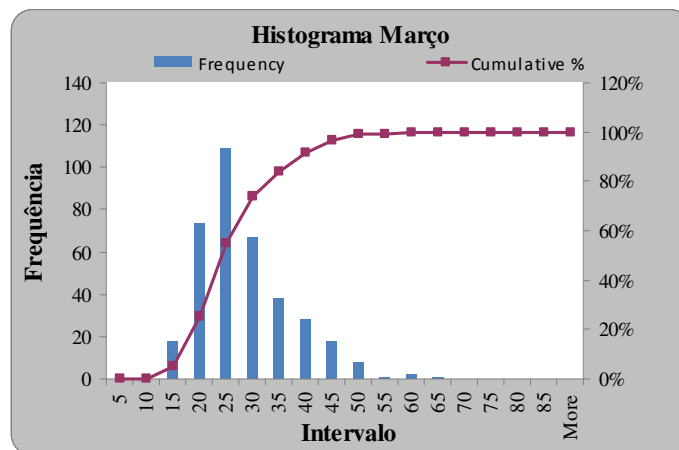


Figura 4.9 – Histograma da “Rota Secções” do mês de Março 2011

Igualmente semelhante é % do número de defeitos (DPO) encontrado nos três meses: 22% em Janeiro, 28% em Fevereiro e 26% em Março, sendo o nível sigma em todos eles inferior a 1, o que evidencia a total falta de consistência no processo. Estes resultados encontram-se na tabela 4.8

	Janeiro	Fevereiro	Março	Total
Nº rotas efectuadas (unidades)	388	355	364	1107
Nº defeitos: Nº rotas tempo > 30 minutos	87	98	96	281
DPO	0.22	0.28	0.26	0.25
DPMO	224227	276056	263736	253839
Nível Sigma	0.76	0.59	0.63	0.66

Tabela 4.8 – “Rota Secções” – Cálculo do DPO, DPMO e Nível Sigma

#### 4.3.3. Situação Inicial: Resultados da Medição por Mês / Turno

De forma a analisar os dados um pouco mais, dentro de cada mês estes foram divididos entre turnos, sendo o turno da manhã, designado por (T1) e turno da tarde, designado por (T2).

O turno da manhã (T1) trabalha das 06:00 às 13:30 e o turno da tarde (T2) das 13:30 às 21:00 horas, um total de 7:30 minutos por turno.

Resultados de Janeiro - T1		Resultados de Fevereiro - T1		Resultados de Março - T1	
Mean	27.43	Mean	34.42	Mean	31.44
Median	25	Median	32	Median	31
Mode	21	Mode	24	Mode	38
Standard Deviation	12.13	Standard Deviation	12.25	Standard Deviation	10.01
Range	63	Range	75	Range	52
Minimum	10	Minimum	12	Minimum	11
Maximum	73	Maximum	87	Maximum	63
Count	167	Count	146	Count	148

Tabela 4.9 – Resultados Estatísticos da “Rota Secções”: Turno da manhã (T1), de Jan. a Mar. 2011

Resultados de Janeiro - T2		Resultados de Fevereiro - T2		Resultados de Março - T2	
Mean	24.94	Mean	22.50	Mean	23.20
Median	25	Median	22	Median	22
Mode	26	Mode	23	Mode	22
Standard Deviation	5.27	Standard Deviation	5.87	Standard Deviation	5.67
Sample Variance	27.74	Sample Variance	34.48	Sample Variance	32.15
Range	29	Range	39	Range	37
Minimum	11	Minimum	10	Minimum	12
Maximum	40	Maximum	49	Maximum	49
Count	220	Count	208	Count	215

Tabela 4.10 – Resultados Estatísticos da “Rota Secções”: Turno da tarde (T2), de Jan. a Mar. 2011

		Janeiro	Fevereiro	Março	Média
Coeficiente de Variação	T1	44%	36%	32%	37%
	T2	21%	26%	24%	24%

Tabela 4.11 – Coeficiente de Variação, nos turnos da manhã (T1) e tarde (T2), de Jan. a Mar. 2011



<b>Turno da manhã : T1</b>	<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Total</b>
Nº rotas efectuadas (unidades)	168	147	149	464
Nº defeitos: Nº rotas tempo > 30 minutos	58	81	77	216
DPO	0.35	0.55	0.52	0.47
DPMO	345238	551020	516779	465517
Nível Sigma	0.4	0	0	0.09

Tabela 4.12 – “Rota Secções” – Cálculo do DPO, DPMO e Nível Sigma: Turno 1

<b>Turno da tarde : T2</b>	<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Total</b>
Nº rotas efectuadas (unidades)	220	208	215	643
Nº defeitos: Nº rotas tempo > 30 minutos	29	17	19	65
DPO	0.13	0.08	0.09	0.10
DPMO	131818	81731	88372	101089
Nível Sigma	1.12	1.39	1.35	1.28

Tabela 4.13 – “Rota Secções” – Cálculo do DPO, DPMO e Nível Sigma: Turno 2

Quando analisamos os dados das amostras ao nível dos turnos, verificamos que nos três meses:

- No turno da manhã (T1) efectuam-se menos rotas;
- A % de defeitos no turno da manhã (T1) é superior à % de defeitos do turno da tarde (T2);
- O Nível Sigma do turno da manhã (T1) é inferior ao Nível Sigma do turno da tarde (T2);
- O CV do turno da manhã (T1) é superior ao coeficiente de variação do turno da tarde (T2).

Os histogramas do turno da manhã (T1) e turno da tarde (T2), em cada mês, encontram-se nas figuras 4.10, 4.11, 4.12

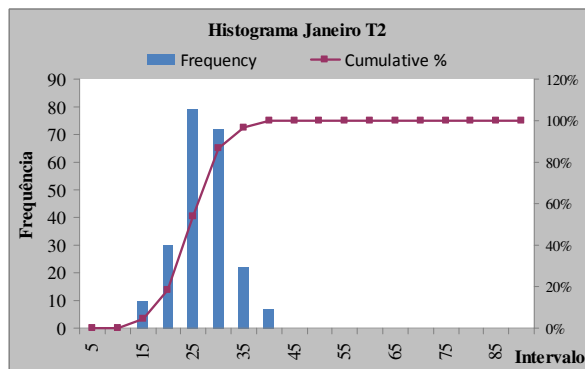
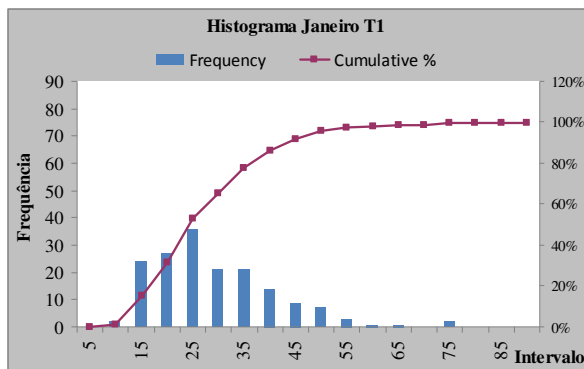


Figura 4.10 – Histogramas da “Rota Secções” por turno: manhã (T1) e tarde (T2), Janeiro 2011

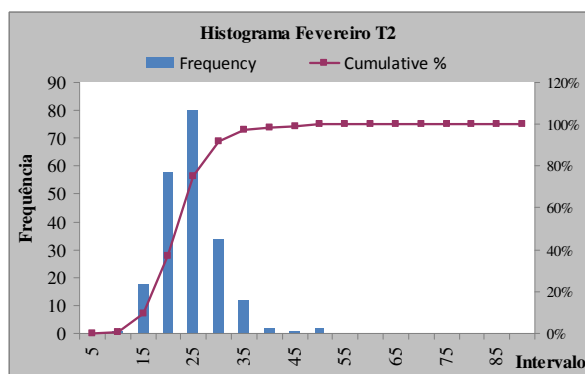
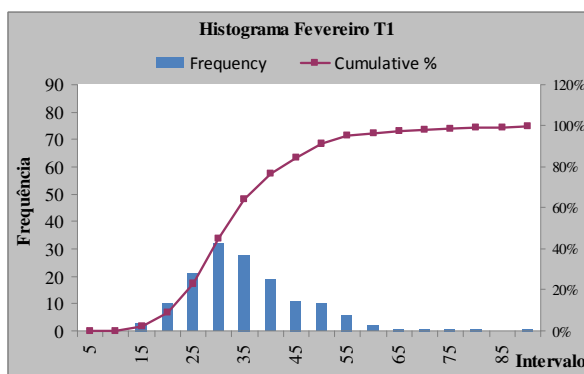


Figura 4.11 – Histogramas da “Rota Secções” por turno: manhã (T1) e tarde (T2), Fevereiro 2011

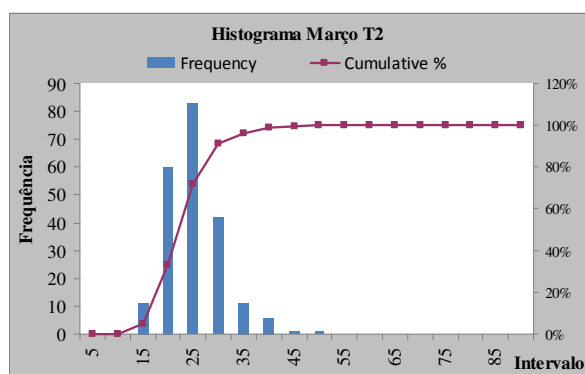
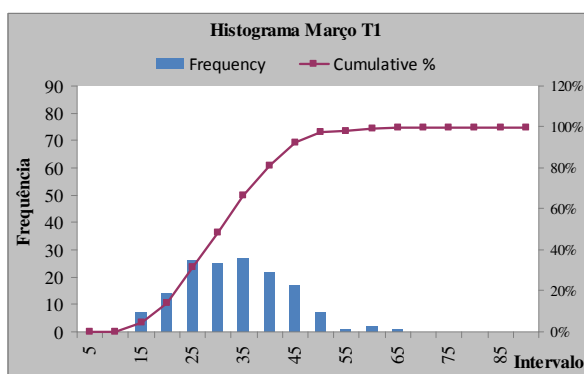


Figura 4.12 – Histogramas da “Rota Secções” por turno: manhã (T1) e tarde (T2), Março 2011

#### **4.4. DMAIC – Fase Analisar**

Com a fase analisar pretende-se identificar as potenciais causas que estão na origem do problema e compreender as relações de Causa – Efeito, ou seja, de que forma uma variável ou varias variáveis de entrada (X) afectam a variável de saída (Y).

Neste problema, (Y) é a variabilidade do tempo de rota medido em minutos e os (X's) são os vários factores que contribuem para essa variabilidade.

As ferramentas a usar nesta fase servem para dissecar as causas e separar as causas comuns inerentes ao processo, das causas especiais.

A equipa de projecto realizou um workshop, e decidiu fazer uma análise específica ao processo do turno da manhã (T1) por ser aquele que apresenta um maior número de defeitos, ou seja um maior número de rotas com tempo superior a 30 minutos.

##### **4.4.1. Análise ao processo do turno da manhã (T1)**

Durante esta análise foram acompanhadas várias “Rotas Secções” e uma “Rota Solar”. O fluxograma do processo encontra-se na figura 4.13.

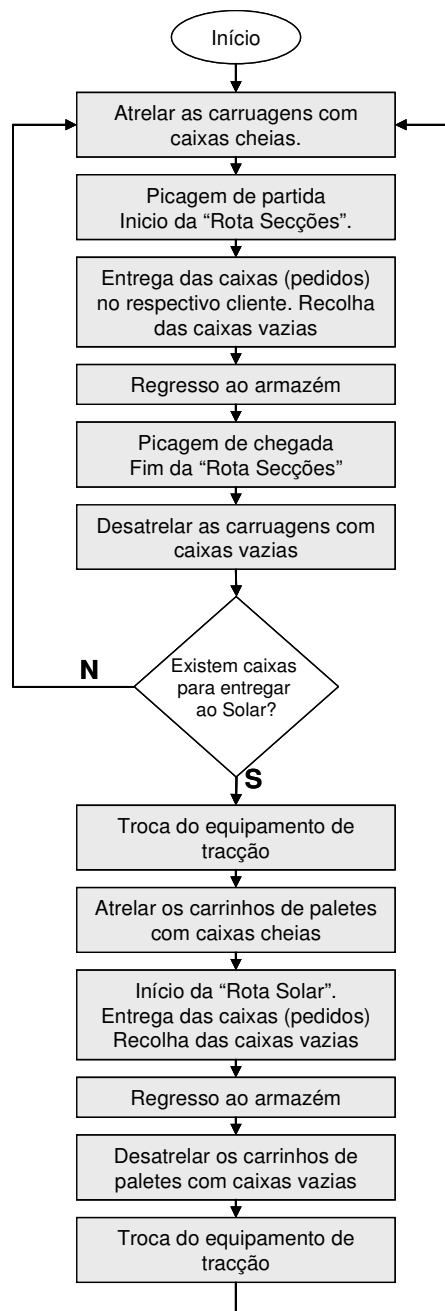


Figura 4.13 – Fluxograma do Processo do turno da manhã (T1)

Após mapeado o processo e através do diagrama Causa – Efeito, ver figura 4.14, ferramenta tipicamente usada nesta fase de Análise, identificaram-se os factores que potencialmente podem causar impacto na variabilidade da rota.

O objectivo é eliminar ou reduzir estes factores de variabilidade.

#### 4.4.2. Diagrama Causa – Efeito

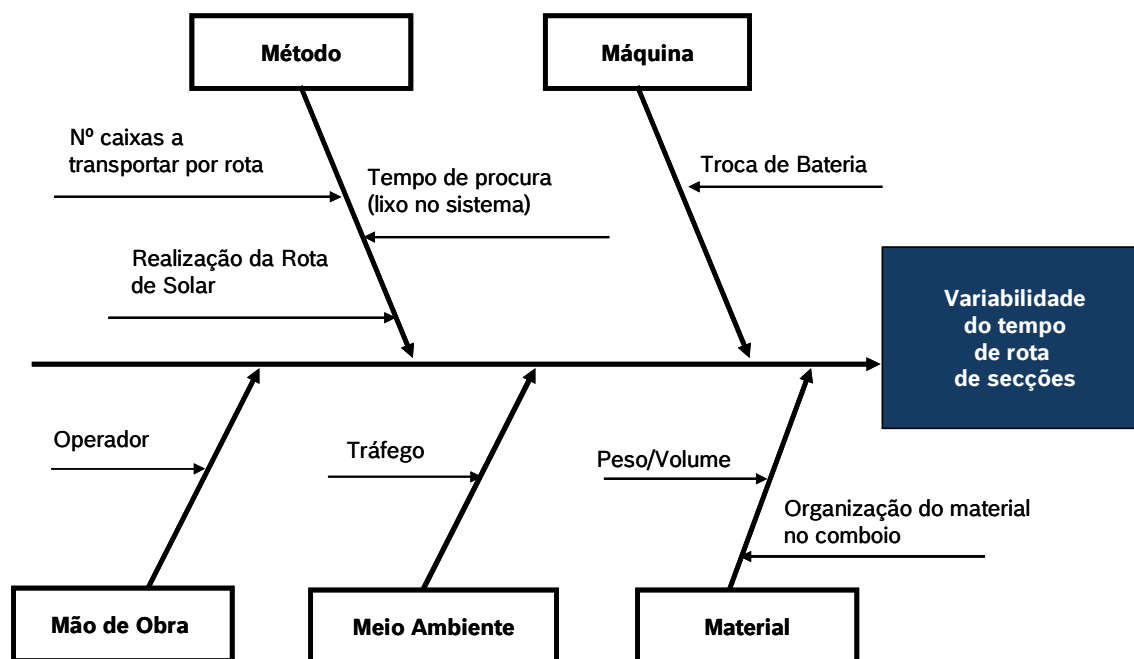


Figura 4.14 – Diagrama Causa – Efeito

As causas “Realização da Rota do Solar” e “Nº de caixas a entregar por rota” foram identificadas como as principais causas do problema, estando ambas relacionadas com o Método.

#### 4.4.3. Teste de Regressão “Número de caixas entregue por rota versus tempo de rota”

Como forma de quantificar o impacto da causa “Nº de caixas a entregar por rota”, na variabilidade do tempo de rota, efectuou-se o Teste de Regressão Linear.

O operador Milk Run anotou, por rota, o nº de caixas entregues, ver anexo 1.

Pela análise dos gráficos abaixo, figura 4.15, tanto no turno da manhã como no turno da tarde, podemos observar que existe uma relação entre as duas variáveis, sendo a variável (X) o número de caixas entregues e a variável (Y) o tempo de rota.

Verifica-se uma correlação positiva, isto é, o tempo de rota aumenta quando aumenta o número de caixas a entregar.

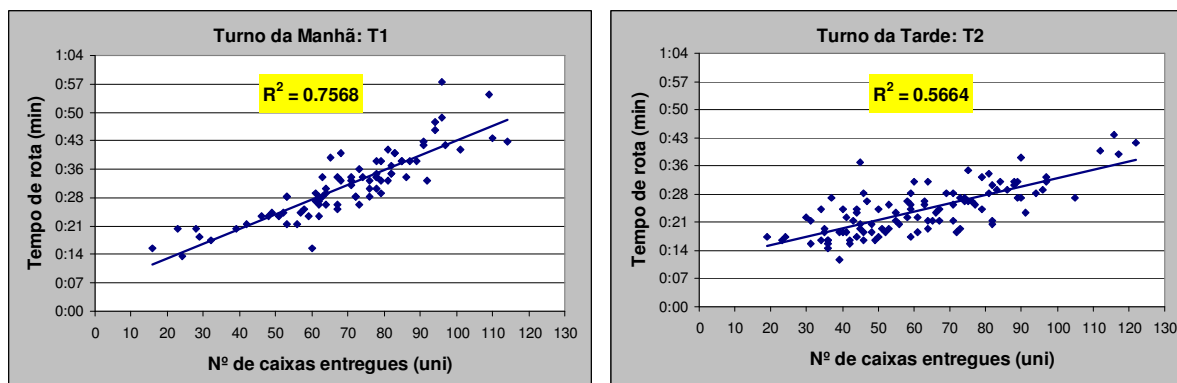


Figura 4.15 – Regressão Linear e Coeficiente de Correlação no turno: manhã (T1) e tarde (T2)

De acordo com os resultados obtidos no teste de regressão, anexo 2, o valor calculado de  $r^2$ , indica que esta percentagem é de 75.6% no turno da manhã (T1) e de 56.6% no turno da tarde (T2), ou seja, é superior no turno 1. Este resultado não é uma surpresa.

De acordo com a tabela 4.14, resultante das amostras em análise, podemos verificar que turno da manhã (T1) realiza menos rotas por dia e em cada rota movimentava mais caixas.

Pela observação directa do processo, verificou-se ainda que quando o turno da manhã (T1) interrompia a “Rota Secções” para realizar a “Rota do Solar” o volume de caixas a transportar por rota aumentava bastante, ou seja, o armazém tinha mais tempo para colocar caixas no comboio da “Rota Secções”.

Isto já não se verificou no turno da tarde (T2). A “Rota Secções” neste turno é um ciclo contínuo, e consequentemente os picos no número de caixas a transportar são menores.

Turno	Nº de dias da amostra	Nº de rotas efectuadas	Nº de caixas movimentadas	Tempo médio/rota (min)	Nº médio de rotas/dia	Nº médio de caixas movimentadas/dia	Nº médio de caixas movimentadas/rota
Manhã (T1)	12	81	5641	32	7	470	70
Tarde (T2)	10	103	6384	24	10	638	62

Tabela 4.14 – Comparação entre turno da manhã (T1) e turno da tarde (T2)

Em ambos os turnos, o valor de  $r$  é superior a +0.7 e como tal esta é um factor que vale a pena investigar.

A investigação da causa “Realização da Rota do Solar” é feita na fase que se segue, a fase Melhorar.

## 4.5. DMAIC – Fase Melhorar

O objectivo da fase Melhorar é encontrar e implementar soluções que eliminem as causas dos problemas, previnam a re-ocorrência dos mesmos ou reduzam a variabilidade num processo.

Ainda que existam várias possíveis soluções para o mesmo problema, deve-se escolher entre todas a melhor ou as duas melhores e trabalhar nelas. Idealmente, as soluções definidas não devem implicar elevados investimentos sob o risco de comprometer os ganhos no longo prazo. Devem ser testadas antes de serem implementadas para que a sua eficácia seja previamente comprovada e para evitar desperdiçar tempo em soluções que exijam elevado esforço para um baixo benefício.

Para avaliar esta relação, ou seja, focalizar o esforço com vista à maximização dos benefícios, a equipa recorreu à ferramenta “Matriz Impacto – Esforço”.

### 4.5.1. “Matriz Impacto – Esforço”

Realizou-se um workshop para listar todas as potenciais soluções. Cada uma das soluções foi classificada, numa escala de 1 a 10, em dois critérios: o esforço necessário para implementar a solução e o impacto previsto desta no objectivo final. O resultado encontra-se na tabela 4.15.

Soluções		Impacto	Esforço	Observações
1	O Milk Run efectua apenas a “Rota Secções”.	9	4	Alocar a Rota Solar a outro Milk Run. Analisar.
2	Entregar uma quantidade fixa de caixas por rota	8	7	Necessidade de um 3º comboio. 1º Comboio em circulação 2º Comboio em carga no armazém 3º Comboio para iniciar carga em armazém, caso do 2º esteja cheio
3	Relocalizar os materiais pesados e com volume	3	4	Analisar nos supermercados, em que locais se encontram os materiais pesados. Localizá-los o mais próximo possível do ponto de paragem do Milk Run. Alterar sistema informático.
4	Eliminar as parametrizações obsoletas do sistema informático	2	6	Analisar peça a peça as parametrizações no sistema que já não se usam. Eliminar informação contraditória, por exemplo: 2 locais no supermercado para a mesma peça.

Tabela 4.15 – Avaliação do Impacto e Esforço das várias soluções

Para as soluções debatidas, a intersecção dos dois critérios, Impacto versus Esforço, está representada na figura 4.16

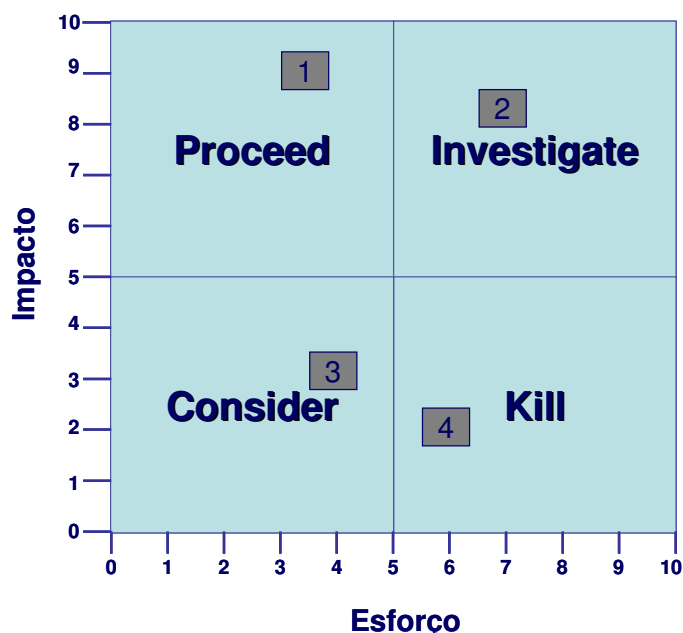


Figura 4.16 – Matriz “Impacto Esforço”. Adaptada de [www.systems2win.com](http://www.systems2win.com)

#### 4.5.2. Priorização das soluções

Após esta avaliação, decidiu-se testar a solução do quadrante “Proceed”, “O Milk Run efectua apenas a Rota Secções” e a solução do quadrante “Investigate” “Entregar uma quantidade fixa de caixas por rota”, por serem aquelas que maximizam o impacto com um menor esforço.

A solução do quadrante “Consider”, “Relocalizar os materiais pesados e com volume”, foi realizada no dia seguinte ao workshop.

As alterações físicas nos supermercados implicam alterações nas parametrizações do sistema informático e como tal não podem ser feitas durante o período normal de trabalho. Assim, aproveitou-se uma paragem planeada do turno da tarde para o fazer de imediato.

Os materiais pesados e com volume foram localizados junto à paragem do comboio em detrimento das peças mais leves que agora implicam alguma deslocação a pé.



Não existem dados quantitativos do impacto desta acção na variabilidade do tempo da rota, embora seja evidente que a facilidade de transportar manualmente uma caixa pesada não seja a mesma que uma caixa leve. O operador Milk Run ficou satisfeito com as alterações.

#### **4.5.3. Solução: “O Milk Run efectua apenas a “Rota Secções”.**

De forma a testar a solução, foi realizado um teste piloto com o objectivo de verificar na solução escolhida o que funciona, o que não funciona e quais as modificações a fazer de forma a melhorar a eficácia da mesma.

##### **4.5.3.1. Objectivo do Teste**

O teste desta solução tem como objectivos:

1. Analisar a variabilidade nos tempos da “Rota Secções” isoladamente, ou seja, sem qualquer interferência de outras operações que não façam parte desta rota.
2. Analisar o tempo de paragem no armazém (sub-tempo de Ciclo II, ver tabela 4.6)

Testou-se a “Rota Secções”, no turno da manhã (T1) como processo único. Este teste designou-se por “Processo Rota Secções S/ Solar”

A “Rota Solar” até aqui efectuada pelo mesmo Milk Run da “Rota Secções” foi garantida por outro colaborador.

##### **4.5.3.2. Resultados do Teste**

O teste realizou-se durante sete dias, entre o dia 7 e o dia 15 de Abril, no turno da manhã (T1).

Foram realizadas 84 rotas. 5 rotas foram anuladas <sup>5</sup> e as restantes 79 fazem parte da amostra.

Os resultados encontram-se na figura 4.17 e nas tabelas 4.16, 4.17 e 4.18

---

<sup>5</sup> Motivo de anulação de rotas: falta de picagem de partida ou chegada

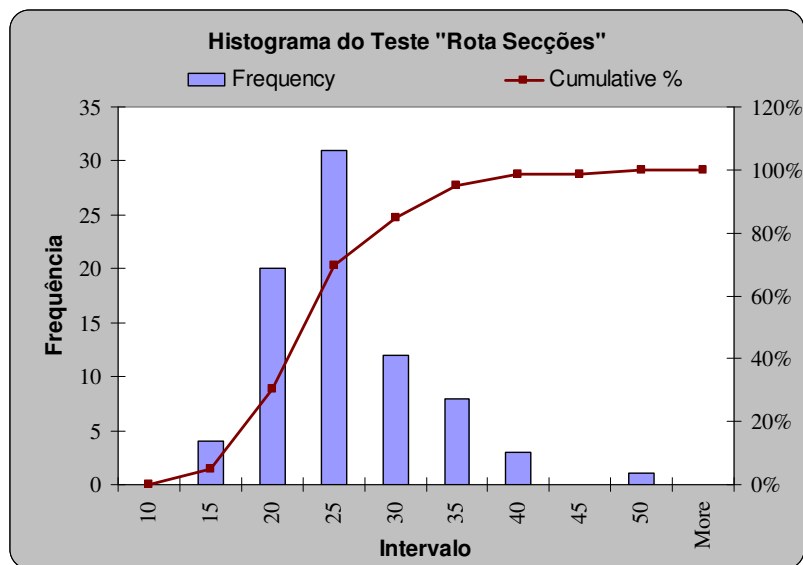


Figura 4.17 – Histograma do Teste: “Processo Rota Secções S/ Solar”

“Processo Rota Secções S/ Solar”	
Nº rotas efectuadas (unidades)	79
Nº defeitos: Nº rotas tempo > 30 minutos	12
DPO	0.15
DPMO	151899
Nível Sigma	1.03

Tabela 4.16 – Cálculo do Nível Sigma e DPMO do Teste “Processo Rota Secções S/ Solar”

“Processo Rota Secções S/ Solar”	
Mean	24.04
Median	23
Mode	25
Standard Deviation	6.35
Range	36
Minimum	11
Maximum	47
Count	79

Tabela 4.17 – Resultados Estatísticos do Teste: “Processo Rota Secções S/ Solar”

		Desvio Padrao	Média	CV
Coeficiente de Variação (CV)	“Processo Inicial”			37%
	“Processo Rota Secções S/ Solar”	6.35	24.04	26%

Tabela 4.18 – Cálculo Coeficiente de Variação do “Processo Rota Secções S/ Solar”

#### 4.5.3.3. Conclusões do Teste

Relativamente ao objectivo 1 deste teste, e com base na comparação das amostras do “Processo Rota Secções S/ Solar” e o “Processo Inicial”, as conclusões são as seguintes:

- O CV diminuiu de 37% para 26%, logo a variabilidade dos tempos de rota diminuiu;
- O tempo médio por rota diminuiu ligeiramente, cerca de 1 minuto, de 25 para 24 minutos;
- O DPO diminuiu de 25% para 15%, logo o nº de rotas com tempo superior a 30 minutos diminuiu.

Para extrapolarmos estas conclusões, relativas aos dados da amostra, para a população recorreu-se aos Teste de Hipóteses.

*Nota: De modo a aproximar o tamanho das amostras, para o “Processo Inicial” foram considerados apenas os dados de Março de 2011. O Teste da Distribuição Normal, para os dados de Março, encontra-se no anexo 3.*

#### 4.5.4. Teste de Hipóteses à Variância

Ao nível 0,05, haverá evidência suficiente nos dados que revelem que a variância do “Processo Inicial” é maior que a variância do Processo “Processo R. Secções S/ Solar”?

Ho:  $\sigma^2$  tempo de rota no “Processo Inicial”  $\leq \sigma^2$  tempo no “Processo R. Secções S/ Solar”

H1:  $\sigma^2$  tempo de rota no “Processo Inicial”  $> \sigma^2$  tempo no “Processo R. Secções S/ Solar”

**F-Test Two-Sample for Variances**

	Variable 1	Variable 2
Mean	31.490	24.038
Variance	99.833	40.319
Observations	149	79
df	148	78
F	2.476	
P(F<=f) one-tail	0.000	
F Critical one-tail	1.400	

Tabela 4.19 – Resultado do F – Test

Para um nível de confiança de 95%, como o valor da estatística de teste pertence à região crítica, rejeitamos a hipótese nula. Ver tabela 4.19.

Pode-se concluir que a variância do “Processo Inicial” é maior que a variância do “Processo R. Secções S/ Solar”

#### 4.5.5. Teste de Hipóteses à Média

Ao nível 0.05, haverá evidência suficiente nos dados que revelem que a média do tempo de rota do “Processo Inicial” é maior que a média do tempo de rota do “Processo R. Secções S/ Solar”?

Ho:  $\mu_0$  tempo de rota do “Processo Inicial”  $\leq \mu_1$  do tempo no “Processo R. Secções S/ Solar”

H1:  $\mu_0$  tempo de rota do “Processo Inicial”  $> \mu_1$  do tempo no “Processo R. Secções S/ Solar”

#### t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	Variable 1	Variable 2
Mean	31.490	24.038
Variance	99.833	40.319
Observations	149	79
Hypothesized Mean Difference	0	
df	219	
t Stat	6.859	
P(T<=t) one-tail	0.000	
t Critical one-tail	1.652	
P(T<=t) two-tail	0.000	
t Critical two-tail	1.971	

Tabela 4.20 – Resultado do t – Test

Para um nível de confiança de 95%, como o valor da estatística de teste pertence à região crítica, rejeitamos a hipótese nula. Ver tabela 4.20.

Pode-se concluir que a média do tempo de rota do “Processo Inicial” é maior que a média do tempo de rota do “Processo R. Secções S/ Solar”

#### 4.5.6. Teste Z: Teste à Diferença entre duas Proporções Binomiais

Ao nível 0.05, haverá evidência suficiente nos dados que revelem que a proporção de defeitos no “Processo Inicial” é maior proporção de defeitos no “Processo R. Secções S/ Solar”?

Defeito: uma rota com tempo > 30 minutos.

Ambas as amostras são consideradas de grande dimensão.

Ho:  $p_0$  “Processo Inicial”  $\leq$   $p_1$  “Processo R. Secções S/ Solar”

H1:  $p_0$  “Processo Inicial”  $>$   $p_1$  “Processo R. Secções S/ Solar”

Os cálculos deste teste encontram-se no anexo 4 (4.1) sendo o resultado o seguinte:

$$ET(Z) = 6.3 > ET(\alpha) = 1.645$$

Para um nível de confiança de 95%, como o valor da estatística de teste pertence à região crítica, rejeitamos a hipótese nula.

Pode-se concluir que proporção de defeitos no “Processo Inicial” é maior que a proporção de defeitos no “Processo R. Secções S/ Solar”.

Em suma, as conclusões retiradas relativamente à comparação das amostras, verificam-se quando extrapoladas para a população.

#### 4.5.7. Cálculo do Tempo de Paragem no Armazém

Na tabela 4.21, são apresentados os cálculos relativos ao tempo de paragem do Milk Run no armazém.

	Tempo de trabalho / turno (min)	$\Sigma$ do tempo de rotas (min)	Nº de rotas (T1)	$\Sigma$ do tempo de paragem no armazém (min)	Tempo médio de paragem no armazém/rota (min)	Tempo de paragem no armazém / Tempo de trabalho turno (%)
07-04-2011	435	232	9	203	23	47%
08-04-2011	435	268	11	167	15	38%
11-04-2011	435	264	12	171	14	39%
12-04-2011	435	305	10	130	13	30%
13-04-2011	435	258	12	177	15	41%
14-04-2011	435	312	12	123	10	28%
15-04-2011	435	260	13	175	13	40%

Ø 11

Ø 38%

Tabela 4.21 – Análise aos tempos de rota do “Processo Rota Secções S/ Solar”

Relativamente ao objectivo 2 deste teste, e com base na comparação das amostras do “Processo Rota Secções S/ Solar” e o “Processo Inicial”, as conclusões são as seguintes:

- O tempo de paragem no armazém manteve-se muito próximo do valor inicialmente observado, 12 minutos por rota;
- O número de rotas efectuadas no turno 1 aumentou, de 7 para 11;
- Nos dias de teste, o Milk Run esteve parado no armazém, a realizar operações sem qualquer valor acrescentado, atrelar e desatrelar carruagens, em média 38% do tempo total de trabalho do turno.

#### **4.5.8. Solução: “Entregar uma quantidade fixa de caixas por rota”.**

Testada a “Rota Secções”, como um processo cíclico e único, sem combinação com qualquer outra tarefa, e tendo os resultados sido positivos, decidiu-se testar a solução “Entregar uma quantidade fixa de caixas por rota”, não nas condições do “Processo Inicial” mas sim já no “Processo Rota Secções S/Solar”. Este teste foi designado por “Teste Carga fixa”.

Para testar esta solução foi definido o procedimento da figura 4.18.

Resumidamente, este procedimento especifica em que situações o operador Milk Run deve continuar o ciclo de rotas, parar ou accionar o “Sistema de Resposta Rápida” para resolver o desvio encontrado.

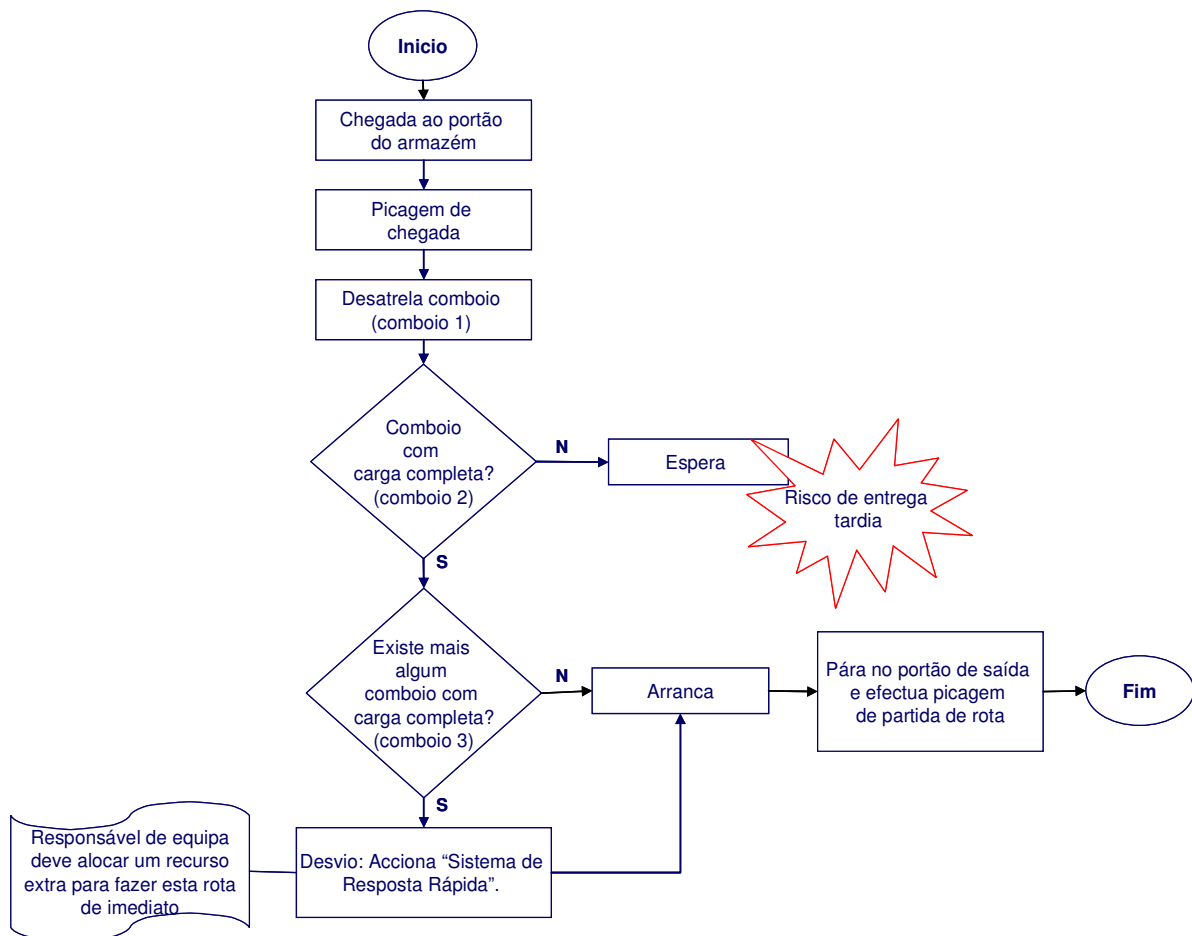


Figura 4.18 – Procedimento “Entregar uma quantidade fixa de caixas por rota”

#### 4.5.8.1. Objectivo do Teste

O teste desta solução tem como objectivos:

1. Analisar a variabilidade nos tempos da “Rota Secções” isolando a causa “Nº de caixas a transportar por rota”;
2. Analisar o tempo de paragem no armazém: sub-tempo de Ciclo II, acrescentado ou não do tempo de espera por falta de carga completa (quantidade de caixas no comboio  $<[55;65]$  caixas).

O nivelamento da carga por rota, “Carga Fixa”, vai evidenciar uma das seguintes 3 possibilidades:

- Sistema perfeito: alinhamento entre o picking e separação do material no armazém e partida do Milk Run, ou seja, 1 comboio com carga completa pronto a partir;
- Tempo de espera do Milk Run por falta de comboio com carga completa;
- Excesso de carga em determinados períodos do dia, ou seja, nº de vezes que o Milk Run não consegue dar resposta (2 comboios completos).

Para evidenciar imediatamente o desvio de excesso de carga, foi implementada a seguinte solução:

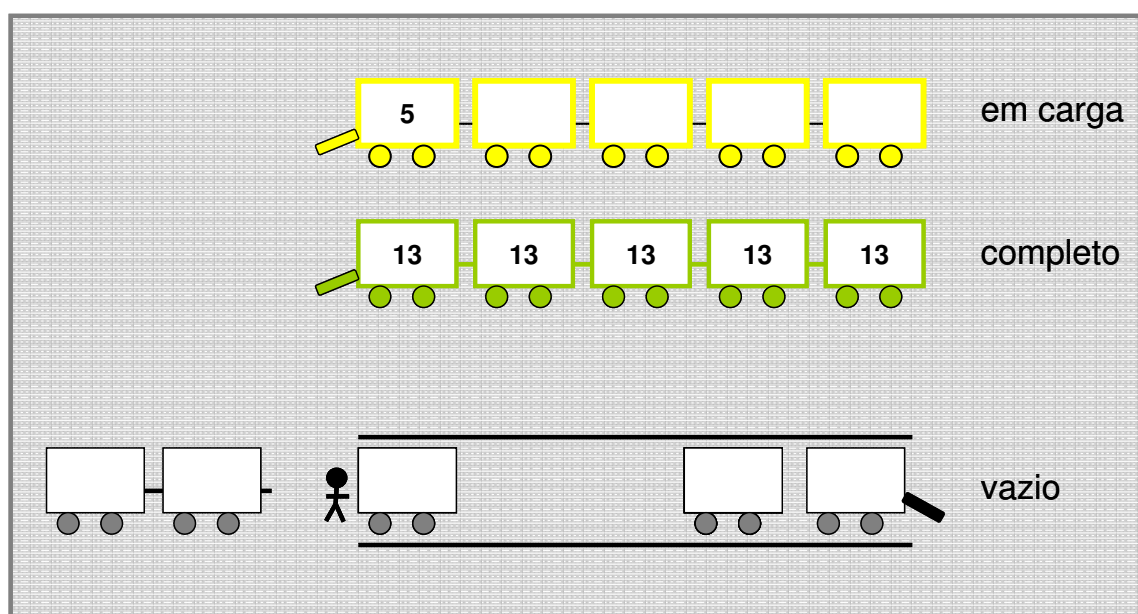


Figura 4.19 – Esquema de funcionamento com 3 comboios logísticos

Na situação ideal, o Milk Run chega ao armazém, desatreia as carruagens do comboio vazio, têm um comboio completo pronto para iniciar uma nova rota e está outro comboio em carga.

Se a qualquer momento o armazém completar dois comboios, o responsável de equipa deve accionar o “Sistema de Resposta Rápida” e alocar uma pessoa para entregar este comboio sem atraso.



#### 4.5.8.2. Cálculo da “Carga Fixa”

Para um objectivo de tempo de rota de [25;30] minutos foi calculado o intervalo do número de caixas a transportar, com base na equação da  $Y = a + bx$ , e nos dados obtidos no teste de regressão linear do turno 1, ver anexo 2 (2.1).

O número de caixas calculado foi [51;64] unidades por rota. Ver tabela 4.22.

Objectivo		Valor calculado	
Y	a	b	x
25	6.1	0.4	51
30	6.1	0.4	64

Tabela 4.22 – Cálculo do intervalo do nº de caixas a transportar por rota

De forma a simplificar a contagem e a memorização dos números, para o operador de separação dos materiais no armazém, a equipa reajustou este intervalo para [55;65].

#### 4.5.8.3. Resultados do Teste

O número de rotas efectuado durante o teste foram 43, das quais 30 cumprem o requisito de quantidade [55;65] e fazem parte da amostra.

O número de caixas definido por rota nem sempre foi cumprido, por diversas razões, nomeadamente, existir material no comboio no limite do tempo definido para entrega e em risco de parar a produção caso aguardasse mais tempo, ver figura 4.20

Os resultados do “Teste Carga Fixa”, para os 30 dados da amostra, encontram-se nas tabelas 4.23, 4.24 e 4.25.

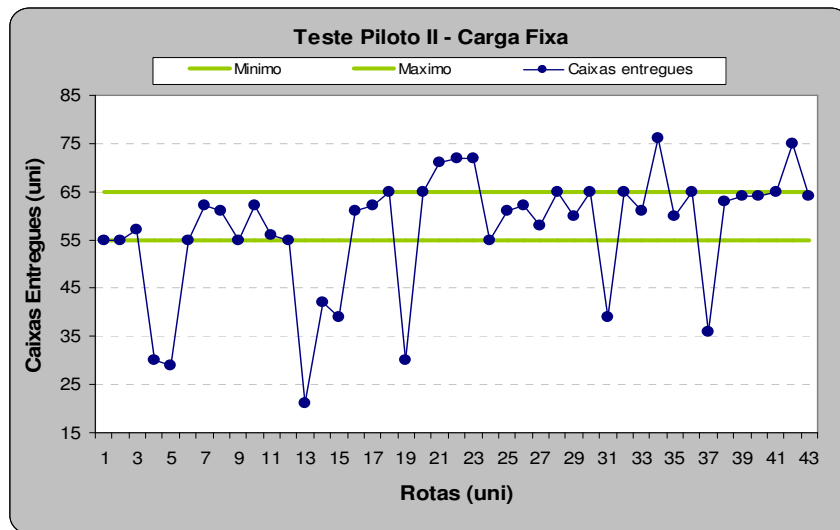


Figura 4.20 – Gráfico do nº de caixas transportadas por rota

Teste Carga Fixa	
Nº rotas efectuadas (unidades)	30
Nº defeitos: Nº rotas tempo > 30 minutos	1
DPO	0.03
DPMO	33333
Nível Sigma	1.83

Tabela 4.23 – Cálculo do Nível Sigma e DPMO do Teste “Carga Fixa”

Teste Carga Fixa	
Mean	23.67
Median	24.5
Mode	25
Standard Deviation	3.21
Range	16
Minimum	15
Maximum	31
Count	30

Tabela 4.24 – Resultados Estatísticos do Teste “Carga Fixa”

		Desvio Padrao	Média	CV
Coeficiente de Variação (CV)	"Processo Rota Secções S/ Solar"			26%
	"Teste Carga Fixa"	3.26	23.69	14%

Tabela 4.25 – Coeficiente de Variação

#### 4.5.8.4. Conclusões do Teste

Relativamente ao objectivo 1 deste teste, e com base na comparação das amostras deste teste “Carga Fixa” e “Processo Rota Secções S/ Solar”, as conclusões são as seguintes:

- O CV diminuiu de 26% para 14%, logo a variabilidade no tempo de rotas diminuiu;
- O tempo médio por rota manteve-se;
- O DPO diminuiu de 15% para 3%, logo a % de defeitos por oportunidade, nº de rotas com tempo superior a 30 minutos, diminuiu.

Para extrapolar estas conclusões, tiradas para os dados da amostra, para a população recorreu-se aos Teste de Hipóteses.

#### 4.5.9. Teste de Hipóteses à Variância

Ao nível 0,05, haverá evidência suficiente nos dados que revelem que a variância do “Processo R. Secções S/ Solar” é menor ou igual que à variância do “Teste Carga Fixa”?

Ho:  $\sigma^2$  tempo de rota no do “Processo R. Secções S/ Solar”  $\leq \sigma^2$  tempo “Teste Carga Fixa”

H1:  $\sigma^2$  tempo de rota no do “Processo R. Secções S/ Solar”  $> \sigma^2$  tempo “Teste Carga Fixa”

F-Test Two-Sample for Variances

	Variable 1	Variable 2
Mean	24.038	23.667
Variance	40.319	10.299
Observations	79	30
df	78	29
F	3.915	
P(F<=f) one-tail	0.000	
F Critical one-tail	1.729	

Tabela 4.26 – Resultado do F-Test

Para um nível de confiança de 95%, como o valor da estatística de teste pertence à região crítica, rejeitamos a hipótese nula. Ver tabela 4.26.

Pode-se concluir que a variância do “Processo R. Secções S/ Solar” é maior que a variância do “Teste Carga Fixa”

#### 4.5.10. Teste de Hipóteses à Média

Ao nível 0,05, haverá evidência suficiente nos dados que revelem que a média do “Processo R. Secções S/ Solar” é menor ou igual que à média do “Teste Carga Fixa”?

**H<sub>0</sub>:**  $\mu_1$  do tempo rota “Processo R. Secções S/ Solar”  $\leq \mu_2$  do tempo rota “Teste Carga Fixa”

**H<sub>1</sub>:**  $\mu_1$  do tempo rota “Processo R. Secções S/ Solar”  $> \mu_2$  do tempo rota “Teste Carga Fixa”

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Mean	24.038	23.667
Variance	40.319	10.299
Observations	79	30
Hypothesized Mean Difference	0	
df	98	
t Stat	0.402	
P(T<=t) one-tail	0.344	
t Critical one-tail	1.661	
P(T<=t) two-tail	0.689	
t Critical two-tail	1.984	

Tabela 4.27 – Resultado do t-Test

Para um nível de confiança de 95%, como o valor da estatística de teste não pertence à região crítica, não rejeitamos a hipótese nula. Ver tabela 4.27.

#### 4.5.11. Teste Z: Teste à Diferença entre duas Proporções Binomiais

Ao nível 0.05, haverá evidência suficiente nos dados que revelem que a proporção de defeitos no “Processo R. Secções S/ Solar” é maior que a proporção de defeitos no “Teste Carga Fixa”?

Ambas as amostras são consideradas de grande dimensão.

Ho:  $p_0$  “Processo R. Secções S/ Solar”  $\leq$   $p_1$  “Teste Carga Fixa”

H1:  $p_0$  “Processo R. Secções S/ Solar”  $>$   $p_1$  “Teste Carga Fixa”

Os cálculos deste teste encontram-se no anexo 4 (4.2), sendo o resultado o seguinte:

$$ET(Z) = 2.17 > ET(\alpha) = 1.645$$

Para um nível de confiança de 95%, como o valor da estatística de teste pertence à região crítica, rejeitamos a hipótese nula.

Pode-se concluir que proporção de defeitos no “Processo R. Secções S/ Solar” é maior que a proporção de defeitos no “Teste Carga Fixa”

Em suma, as conclusões retiradas relativamente à comparação das amostras, verificam-se quando extrapoladas para a população.

#### **4.5.12. Teste de regressão “Carga fixa”**

O teste de regressão aplicado ao novo processo “Carga Fixa” encontra-se no anexo 5.

Dado que o número de caixas entregue por rota, variável (X), é neste processo um parâmetro que varia apenas entre 55 e 65 unidades, não é surpresa o resultado obtido.

Neste processo, para o turno da manhã, apenas 17% da variação do tempo de rota é explicada pela variação no número de caixas a entregar.

#### **4.5.13. Cálculo do Tempo de Paragem no Armazém**

Para cálculo do tempo de paragem no armazém, foram consideradas todas as rotas efectuadas, mesmo aquelas que não cumprem o critério [55;65], dado que neste caso, a amostra é muito pequena e o peso das 13 rotas anuladas é relevante para o cálculo dos tempos. Ver tabela 4.28.

	Tempo de trabalho / turno (min)	$\Sigma$ do tempo de rotas (min)	Nº de rotas (T1) (*)	$\Sigma$ do tempo de paragem no armazém (min)	Tempo médio de paragem no armazém/rota (min)	Tempo de paragem no armazém / Tempo de trabalho turno (%)
19-04-2011	435	218	9	217	24	50%
20-04-2011	435	185	9	250	28	57%
21-04-2011	435	170	6	265	44	61%
26-04-2011	435	132	6	303	51	70%
27-04-2011	435	188	7	247	35	57%
28-04-2011	435	152	6	283	47	65%

(\*) - inclui rotas anuladas no critério: "rota não considerada na amostra, não está no intervalo [55;65]"

Tabela 4.28 – Análise aos tempos de rota do “Processo Carga Fixa”

Esta análise permitiu concluir que:

- O tempo de paragem do Milk Run no armazém, aumentou bastante, é agora de mais de 50% do tempo total de trabalho.

Ou seja, o nivelamento da carga evidenciou que o tempo de espera por carga completa é a situação que mais se verifica.

Em média, cada hora de trabalho o Milk Run está parado trinta minutos. Se este tempo for eliminado, significa que este tempo pode ser transformado em tempo de rota, isto é, tempo de valor acrescentado. Como a “Rota Secções” não tem conteúdo de trabalho suficiente para ocupar estes 30 minutos “futuramente livres” isto poderá significar ir buscar operações a outra rota, ou seja, rebalancear as tarefas e tempos de duas ou mais rotas.

#### 4.5.14. Box Plot – Comparação da variabilidade dos tempos de rota

Pela análise da figura 4.21, verifica-se que o “Processo Carga Fixa” é o processo que apresenta menor dispersão nos tempos de rota quando comparado com o “Processo Inicial” e com o “Processo R. Secções S/ Solar”.

Isto significa que as duas soluções testadas foram de encontro aos objectivos definidos.

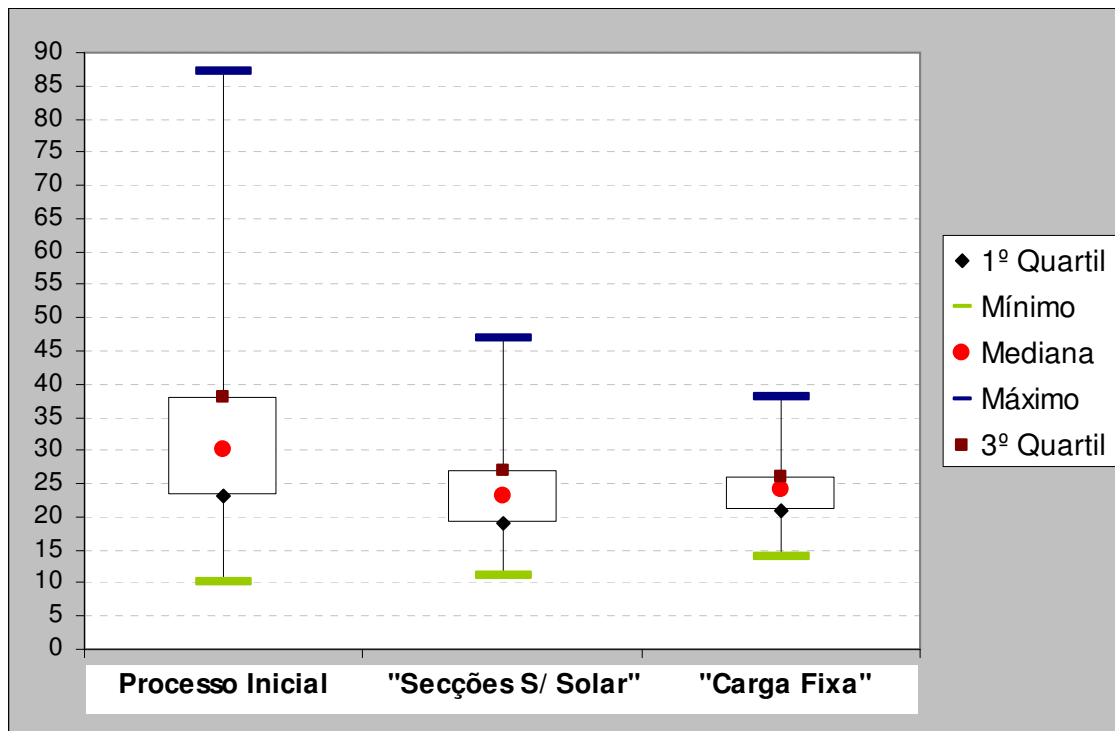


Figura 4.21 – Box Plot – Comparação da variabilidade dos tempos de rota

#### 4.5.15. Melhorias implementadas

As soluções testadas melhoraram os resultados e como tal foi decidido implementá-las.

- Solução 1: “O Milk Run efectua apenas a Rota Secções”

A “Rota Solar”, sem frequência definida, inicialmente combinada com a “Rota Secções”, foi integrada no trabalho do POUP do Solar.

Foram eliminados alguns desperdícios nas operações deste operador, com o objectivo de libertar tempo e assim integrar a “Rota Solar” no seu trabalho diário. A grande vantagem desta integração é o controlo de todo o processo de abastecimento por uma pessoa só.

- Solução 2: Entregar uma quantidade fixa de caixas por rota

Um dos objectivos da normalização das tarefas, isto é, fazer sempre da mesma maneira, é permitir estabelecer comparações, identificar mais facilmente o que é um desvio e eliminá-lo. Este é um dos princípios da filosofia de melhoria contínua praticada na Bosch.

A implementação desta solução permitiu evidenciar ineficiências existentes no processo, como por exemplo o desperdício de transporte com pouca carga.

Com o nivelamento de carga por rota, quantidade igual a [55,65] caixas, a variabilidade nos tempos da rota diminui e ainda ficou evidente que o tempo de paragem do Milk Run no armazém aumentou devido a tempo de espera por carga completa. Este tempo de espera passou a ser superior a 50% do tempo total de trabalho, ou seja, superior ao tempo de trabalho efectivo por turno.

- Solução 3: Mudança Rápida de Carruagens

De forma a eliminar os cerca de doze minutos de tempo de paragem no armazém, em cada rota, correspondentes a atrelar e desatrelar carruagem a carruagem, foi implementada uma solução de carris de entrada e saída, ou seja, o Milk Run passou a desatrelar apenas a primeira carruagem do comboio, deixando todo o comboio alinhado no carril, pronto a ser carregado pelo armazém e a atrelar apenas a primeira carruagem do comboio cheio. Ver figura 4.22.

Para evitar tempo de manobras, estes carris foram ainda alinhados com os portões de entrada e saída.



Figura 4.22 – Carruagens do comboio logístico atreladas e no carril



O tempo de paragem no armazém foi eliminado, significando que este tempo de valor não acrescentado foi liberto para ser ocupado com tempo de valor acrescentado, ou seja, passou a existir a possibilidade de integrar mais tarefas dentro da mesma rota ou aumentar a frequência da mesma.

#### **4.5.16. Resultados alcançados e ganhos financeiros**

A implementação das soluções 1, 2 e 3 permitiu um novo balanceamento de tarefas. A Direcção optou pela integração de mais tarefas dentro da mesma rota, já que o critério actual de frequência da rota igual a 30 minutos cumpre os requisitos das normas do BPS.

Depois de uma análise ao tempo de “Rota Kanbans” conclui -se que as tarefas desta rota podiam ser integradas na “Rota Secções”, dando origem a uma nova rota designada por “Rota Única”.

O Milk Run da “Rota Kanbans” foi alocado a outra tarefa na logística. O que até então era feito por 2 pessoas passou a ser feito por apenas uma e foi criada uma rota nova, a “Rota Única”.

Esta “Rota Única” abastece agora todas as pré-montagens com peças de compra, preparadas pelo armazém e durante o percurso movimenta também o WIP inter-seccões, ou seja, peças semi-acabadas que vão ser integradas num outro semi-acabado, por exemplo, um tubo de gás, produzido na pré-montagem A, que vai ser integrado na pré-montagem B, no semi-acabado automático de gás.

O trigger para esta movimentação são os cartões Kanban e recolhidos no ciclo anterior, ver figura 4.23



Figura 4.23 – Cartões Kanban recolhidos na rota

Os resultados destas melhorias foram:

- Redução de 1 Milk Run por turno (2 operadores por dia);
- Aumento do indicador Eficiência, para o mesmo conteúdo de trabalho foram reduzidas 15 horas de trabalho por dia na logística;
- Redução de 1 equipamento de tracção (equipamento que atrela e puxa as carruagens);
- Redução do tráfego interno e tempos de paragem devido a corredores interrompidos;

Os respectivos ganhos financeiros encontram-se na tabela 4.29. Por questões de confidencialidade de dados, os custos unitários não podem ser especificados, apenas o valor da poupança total.

	Antes			Depois	Análise Financeira			
	Rota Secções	Rota Kanbans	Total	Rota Única	Delta (turno)	Delta (dia)	Custo Unitário (€)	Poupança Total (€)
Milk Runs (uni)	1	1	2	1	1	2		
Equipamento de Tracção (uni)	1	1	2	1	1	1		
Ganho de Eficiência (%)			100%	107%				

39,400

Tabela 4.29 – Ganhos Financeiros

Relativamente aos objectivos definidos, os resultados atingidos encontram-se na tabela 4.30.

Objectivos para Turno da Manhã (T1)		Janeiro	Fevereiro	Março	Objectivo	Atingido	Status
Redução do DPMO	%	345238	551020	516779	10.000	33.333	😊
Aumento do Nível Sigma		0.4	0	0	2.3	1.8	😊
Redução do Coeficiente de Variação (Tempo de Rota)	%	44	36	32	11.5	14	😊
Redução do tempo médio / rota	min	27	34	31	25	24	😊
Eliminação do tempo de paragem no armazém	min	12	12	12	0	0	😊

Tabela 4.30 – Objectivos definidos versus Objectivos atingidos

Apesar dos excelentes resultados alcançados, nem todos os objectivos inicialmente definidos foram atingidos. O sistema ainda apresenta ainda 14% de variabilidade, 33.333 defeitos por cada milhão de rota efectuada e um nível sigma inferior a 2. De muito positivo salienta-se a redução do tempo médio de rota e a total eliminação do tempo de paragem no armazém.

#### 4.6. DMAIC – Fase Controlar

Este projecto ficou concluído antes da fase Controlar ser iniciada. Como a “Rota Secções” e “Rota Kanban” foram agrupadas numa nova rota, a “Rota Única”, foi criado um cartão magnético para recolha de picagens desta rota, para posterior análise dos dados.

Os resultados que se seguem são relativos a 2 meses de análise, Junho e Julho de 2011, num total de 689 rotas efectuadas e mostram claramente a necessidade de iniciar um novo projecto Seis Sigma.

Rota única	
Mean	28
Median	28
Mode	28
Standard Deviation	5.901
Range	45
Minimum	10
Maximum	55
Count	689

Tabela 4.31 – Resultados Estatísticos Rota Única

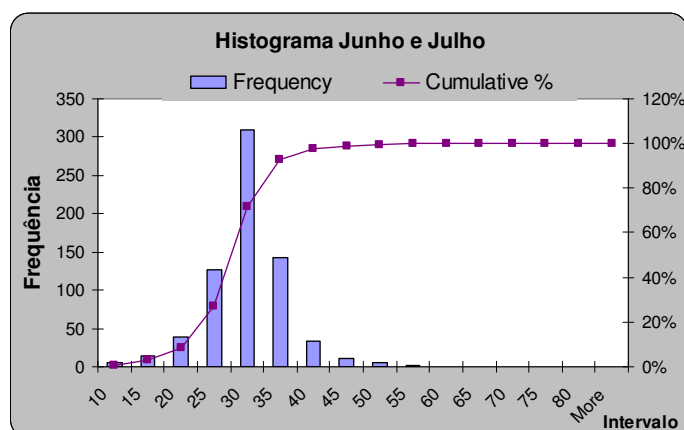


Figura 4.24 – Histograma Rota Única, Junho e Julho 2011

	Rota única
Nº rotas efectuadas (unidades)	689
Nº defeitos: Nº rotas tempo > 30 minutos	194
DPO	0.28
DPMO	281567
Nível Sigma	0.58

Tabela 4.32 – Cálculo do Nível Sigma e DPMO da Rota Única”

## CAPÍTULO V – CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE MELHORIA FUTURA

### 5.1. Conclusões

O Seis Sigma centra-se na medição dos defeitos e aplica-se, normalmente, em partes e processos específicos, com o objectivo de perceber o que origina esses defeitos e quais as soluções possíveis para sistematicamente os eliminar e chegar o mais perto possível dos "Zero Defeitos".

É uma das estratégias possíveis para a melhoria de processos, produtos e serviços. Através da sua metodologia sistemática e orientada para projectos, o DMAIC, permite reduzir custos pela eliminação dos desperdícios, da redução de defeitos e variabilidade.

Esta abordagem sistemática, revelou-se de extrema importância no projecto implementado, principalmente por ter dividido a análise do processo em duas partes, o tempo de rota e o tempo de armazém, o que permitiu expor os desperdícios ocultos.

Apesar do nível sigma do processo estudado ter ficado ligeiramente abaixo de 2 sigma, logo fora do intervalo [2;4] onde a maioria das empresas mundiais se encontra, não devemos esquecer que o Seis Sigma deve ser encarado como um programa de melhoria contínua de longo prazo. A literatura refere que mesmo as organizações mais dedicadas na implementação do Seis Sigma demoram cerca de 6 a 10 anos para melhorar o seu nível sigma de 3 para 4.

Na Bosch, esta metodologia revelou-se um excelente complemento da metodologia Lean já existente, o BPS, já que pelo uso de ferramentas e técnicas estatísticas adequadas, foi possível analisar os dados com rigor e propor soluções para reduzir os desvios ao *standard* previamente definido pelo BPS.

Comparativamente com os dados de Março de 2011, a implementação deste projecto resultou na redução do tempo de ciclo de uma rota, de cerca de 31 minutos para 24 minutos, na redução do número de rotas com tempo acima de 30 minutos, de cerca de 517.000 rotas por cada milhão de rotas efectuadas para 33.333 no final do projecto, o que se traduziu num aumento do nível sigma de aproximadamente 0 para 1.8. Outros resultados alcançados passaram pela eliminação do tempo de valor não acrescentado desperdiçado no armazém a atrelar e a desatrelar as carruagens do comboio, na redução do desperdício de transporte ao integrar a “Rota Secções” e “Rota Kanban” numa rota só, a “Rota Única”, no aumento do Indicador Eficiência na Logística Interna em 7% e, finalmente, na satisfação do cliente,

Estas melhorias no processo traduziram-se num benefício financeiro de cerca de 40.000 euros.

No entanto, ainda há potencial para mais ganhos, nomeadamente pela melhoria do fluxo de materiais e pela redução do desperdício no processo como um todo.

Seguem-se algumas propostas de melhorias a implementar em projectos futuros.

## **5.2. Propostas de melhorias futuras**

Os resultados deste trabalho demonstraram uma quebra no fluxo de material entre o processo de picking e separação no armazém e o serviço de entrega logístico, efectuado pelo Milk Run.

Um dos possíveis trabalhos a realizar futuramente é a análise do tempo de picking e separação de “uma determinada carga fixa” de forma a sincronizar o processo de picking e separação com o processo de entrega. O objectivo de igualar o tempo de trabalho de um processo com o tempo de trabalho do outro é eliminar o tempo de espera por falta de carga ou o excesso de caixas.

Os pedidos dos clientes ao serem agrupados por tempo de picking e separação, permite ao responsável de equipa do armazém detectar desvios – falta ou excesso de carga – e accionar o sistema de reacção rápida ainda antes do início do picking, o que significa mais tempo de reacção do que na situação actual em que o sistema de reacção rápida é accionado já no momento de partida do Milk Run, ou seja, no fim de todo o processo.

Para que isto seja possível, o problema da variabilidade nos tempos de picking tem de ser resolvido e como tal a aplicação do Seis Sigma, metodologia DMAIC é recomendada.

Outro projecto que deve desde já ser iniciado é a análise do número médio de cartões Kanbans movimentados na “Rota Única”, com o objectivo de voltar a nivelar a carga desta rota e consequentemente o tempo dela. Esta rota parte do armazém com uma carga fixa de [55,65] caixas mas vai recolhendo caixas durante o percurso, relativas aos cartões Kanban consumidos nas pré-montagens. Uma possível abordagem para que o transporte de “caixas Kanban” seja igual em todas as rotas, é usar uma ferramenta Lean, a Gestão Visual – que permite ao operador gerir pelo simples olhar e autonomamente decidir – e atribuir uma cor aos cartões Kanban relativa ao seu tempo de reposição, verde para os cartões kanban que podem ficar 3 rotas sem serem repostos, amarelo para os cartões Kanban que podem ficar 2 rotas e vermelho para os que obrigatoriamente têm de ser abastecidos no ciclo seguinte. Esta cor seria atribuída considerando a quantidade por caixa versus consumo da peça.

Finalmente, a última proposta é a criação de cenários Logísticos para todas as rotas da fábrica.

Como o objectivo é continuamente melhorar o indicador Eficiência, é necessário criar ferramentas que permitam um rápido ajuste do número de horas trabalhadas na Logística de acordo com tempo de produção total previsto. Sazonalmente, as quantidades a produzir variam e, entre outras hipóteses, isto

pode significar aumentar um turno de trabalho e manter o tempo de ciclo, o que se traduz em manter as mesmas rotas e os mesmos tempos de rota, ou pode significar diminuir o tempo de ciclo de produção, o que se traduz numa necessidade de reposição mais rápida, logo distribuição de tarefas e novos cenários logísticos.

## BIBLIOGRAFIA

- (s.d.). Obtido em 21 de September de 2011, de <http://media.techtarget.com/searchSoftwareQuality/downloads/ect01TreasurechestSixSigma.pdf>
- Amer, Y., Luong, L., & Lee, S.-H. (2010). *Case Study: Optimizing order fulfillment in a global retail supply chain*. Elsevier B.V.
- Anand, G., Warp, P. T., & Tatikonda, M. V. (2010). *Role of explicit and tacit knowledge in Six Sigma projects: An empirical examination of differential project success*. Elsevier B.V.
- Antony, J., & Banuelas, R. (2002). *Key ingredients for the efective implementation of Six Sigma program*. Emerald.
- Barney, M., & Mc Carty, T. (2003). *The New Six Sigma - A leader's guide to achieving rapid business improvement and sustainable results*. Bernard Goodwin.
- Brady, J. E., & Allan, T. T. (2006). *Six Sigma Literature: A Review and Agenda for Future Research*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Breyfogle, F. W. (1999). *Implementing Six Sigma - Smarter Solutions Using Statistical Methods*. John Wiley & Sons.
- Brue, G. (2002). *Six Sigma for Managers*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Brun, A. (2010). *Critical success factors of Six Sigma implementations in Italian companies*. International Journal of Production Economics .
- Carvalho, J. C., & Dias, E. B. (2004). *Estratégias Logísticas - Como servir o cliente a baixo custo*. Edições Sílabo, LDA.
- Chakravorty, S. S. (2009). *Six Sigma programs: an implementation model*. Elsevier B.V.
- Coimbra, C. d. *O custo da ineficiência na logística interna*. Universidade de São Paulo.
- Coimbra, E. A. (2009). *Total Flow Management: Achieving Excellence with Kaizen and Lean Supply Chains*.
- Coronado, R. B., & Antony, J. (2002). *Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations*. Emerald.
- Cronemyr, P., & Witell, L. (2008). *Changing from a product to a process perspective for service improvements in a manufacturing company*. Emerald Group Publishing Limited.
- Eckes, G. (2000). *The Six Sigma Revolution*. John Wiley & Sons.

- Firka, D. (2010). *Six Sigma: an evolutionary analysis through case studys*. Emerald Group Pblishing Limited.
- Goh, T. (2002). *A Strategic Assesment of Six Sigma*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Goh, T. N., & Xie, M. (2004). *Improving on the six sigma paradigm*. Emerald Group Publishing Limited.
- Harry, M., & Schroeder, R. (2000). *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing The World's Top Corporations*. Doubleday.
- Hoerl, R. W. (2001). *Six Sigma Black Belts: What do They Need to Know*. GE Corporate Research and Development.
- Jayaram, J., Das, A., & Nicolae, M. (2010). *Looking beyond the obvious: Unraveling the Toyota Production System*. Elsevier B.V.
- Kumar, S., & Sosnoski, M. (2008). *Using DMAIC Six Sigma to systematically improve shopfloor production quality and costs*. Emerald Group Publishing Limited.
- Kumar, U. D., Nowicki, D., Ramírez-Márquez, J. E., & Verma, D. (2008). *On the optimal selection of process alternatives in a Six Sigma implementation*. Elsevier.
- Kwak, Y. H., & Anbari, F. T. (2006). *Benefits, obstacles, and future of six sigma approach*. Elsevier Ltd.
- Laureani, A., Antony, J., & Douglas, A. (2010). *Lean Six Sigma in a Call Centre: a case study*. Emerald Group Publishing Limited.
- Linderman, K., Schroeder, R. G., Zaheer, S., & Choo, A. S. (2003). *Six Sigma: a goal- theoretic perspective*. Elsevier Science B.V.
- Markarian, J. (July de 2004). What is Six Sigma. *Reinforced Plastics* , Volume 48 (7), pp. 46-49.
- Mehrjerdi, Y. Z. (2011). Six Sigma: Methodology, Tools and its Future. *Assembly Automation* , Volume 31 (Number 1), pp. 79-88(10).
- Montes, F. J., & Molina, L. M. (2006). *Six Sigma and Management Theory: Processes, content and effectiveness*. Total Quality Management & Business Excellence.
- Moura, B. (2006). *Logistica - Conceitos e Tendências*. Centro Atlântico.
- Pande, P. S., & Cavanagh, R. R. (2002). *The Six Sigma Way Team Fieldbook - An Implementation Guide for Process Improvement Teams*. McGraw-Hill.
- Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanagh, R. R. (2000). *The Six Sigma Way - How GE, Motorola, and Other Top Companies are Honing Their Performance*. The McGraw-Hill Companies, Inc.



*PaperSixSigma*. (s.d.). Obtido em Agosto de 2011, de [www.airacad.com](http://www.airacad.com/PaperSixSigma.aspx):  
<http://www.airacad.com/PaperSixSigma.aspx>

Parast, M. M. (2011). *The effect of Six Sigma projects on innovation and firm performance*. Elsevier Ltd.

Peltokorpi, A., & Kujala, J. (2006). *Time-based analysis of total cost of patient episodes*. Emerald Group Publishing Limited.

Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma Handbook - A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at all Levels*. McGraw-Hill.

Schroeder, R. G., Linderman, K., Liedtke, C., & Choo, A. S. (2008). *Six Sigma: Definition and underlying theory*. Elsevier B.V.

Six Sigma Methodology: reducing defects in business processes. (January-February de 2006). *Filtration & Separation* , pp. 34-36.

Taner, M. T., Sezen, B., & Antony, J. (2007). *An overview of six sigma applications in healthcare industry*. Emerald Group Publishing Limited.

Tang, L. C., Goh, T. N., Lam, S. W., & Zhang, C. W. (2007). *Fortification of Six Sigma: Expanding the DMAIC tool Set*. John Wiley & Sons, Ltd.

Tang, L. C., Goh, T. N., Yam, H. S., & Yoap, T. (2006). *Six Sigma - advanced tools for black belts and master belts*. John Wiley & Sons, Ltd.

Wang, X., Liu, Z., Zheng, C., & Quan, C. (2008). *The impact of Lead-Time on Bullwhip Effect in Supply Chain*. IEEE computer society.

## Anexo 1 – Relatório manual de rota

Figura A.1 – Relatório manual de rota, com registo de caixas movimentadas

## Anexo 2 – Teste de Regressão: Processo Inicial

### 2.1 – Turno da Manhã (T1)

#### SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.869926644
R Square	0.756772366
Adjusted R Square	0.753693536
Standard Error	4.249737575
Observations	81

#### ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	4439.18933	4439.18933	245.7986211	5.72892E-26
Residual	79	1426.761287	18.06026946		
Total	80	5865.950617			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	6.099217541	1.719721292	3.546631404	0.000659697
X Variable 1	0.372267928	0.023744657	15.6779661	5.72892E-26
	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	2.676197992	9.522237091	2.676197992	9.522237091
X Variable 1	0.325005371	0.419530484	0.325005371	0.419530484

Figura A.2 – Resultado do teste de regressão (T1)

## 2.2 – Turno da Tarde (T2)

### SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.752564118
R Square	0.566352752
Adjusted R Square	0.562059214
Standard Error	4.217295518
Observations	103

### ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	2346.064037	2346.064037	131.9081999	4.94752E-20
Residual	101	1796.34373	17.78558148		
Total	102	4142.407767			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept	11.59758684	1.219621956	9.509165348	1.08232E-15
X Variable 1	0.212476277	0.01850012	11.48512951	4.94752E-20
	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	9.178185023	14.01698867	9.178185023	14.01698867
X Variable 1	0.175777016	0.249175539	0.175777016	0.249175539

Figura A.3 – Resultado do teste de regressão (T2)

### Anexo 3 – Teste de Kolmogorov-Smirnov

#### 3.1. Amostras – Março e “Processo Rota Secções S/ Solar”

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test				
Amostras		tempo		
<b>Março</b>	N			149
	Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean		31,49
		Std. Deviation		9,992
	Most Extreme	Absolute		,062
	Differences	Positive		,062
		Negative		-,038
	Kolmogorov-Smirnov Z			,755
	Asymp. Sig. (2-tailed)			,619
<b>“Processo Secções S/ Solar”</b>	N			79
	Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean		24,04
		Std. Deviation		6,350
	Most Extreme	Absolute		,136
	Differences	Positive		,136
		Negative		-,082
	Kolmogorov-Smirnov Z			1,209
	Asymp. Sig. (2-tailed)			,108

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Figura A.4 – Resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov

### 3.2. Amostras – “Processo Carga Fixa”

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		tempo
N		30
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	23,67
	Std. Deviation	3,209
Most Extreme Differences	Absolute	,161
	Positive	,106
	Negative	-,161
Kolmogorov-Smirnov Z		,882
Asymp. Sig. (2-tailed)		,417

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Figura A.5 – Resultado do teste Kolmogorov-Smirnov

### Anexo 4 – Teste Z: Teste à diferença entre duas proporções binomiais

Na figura A.6 encontra-se a estatística de teste usada para o teste à diferença entre duas proporções binomiais.

$$ET = \frac{\left( \frac{Y_A}{N_A} - \frac{Y_B}{N_B} \right) - p_0}{\sqrt{\frac{Y_A \cdot (N_A - Y_A)}{N_A^3} + \frac{Y_B \cdot (N_B - Y_B)}{N_B^3}}},$$

Figura A.6 – Estatística de Teste Z

#### **4.1 – Dados do “Processo Inicial” e “Processo Rota Secções S/ Solar”**

Foram usados os seguintes dados para o calculo do ET(Z):

YA	77
NA	149
YB	12
NB	79

#### **4.2 – Dados do “Processo Rota Secções S/ Solar” e Teste “Carga Fixa”**

Foram usados os seguintes dados para o calculo do ET(Z):

YA	12
NA	79
YB	1
NB	30

## Anexo 5 – Teste de Regressão: “Processo Carga Fixa”

### SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.411725126
R Square	0.169517579
Adjusted R Square	0.139857493
Standard Error	2.976319733
Observations	30

### ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	50.62925033	50.62925033	5.715343395	0.023783333
Residual	28	248.0374163	8.858479155		
Total	29	298.6666667			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept	2.400048383	8.912223067	0.269298509	0.789674586
X Variable 1	0.349971776	0.146390151	2.390678438	0.023783333
	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-15.85581276	20.65590952	-15.85581276	20.65590952
X Variable 1	0.050105151	0.649838402	0.050105151	0.649838402

Figura A.7 – Resultados do teste de Regressão